



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

VĚTRNÁ EROZE NA JIHOVÝCHODNÍ MORAVĚ

WIND EROSION IN SOUTHEAST MORAVIA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Němcová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVANA KAMENÍČKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kateřina Němcová
Název	Větrná eroze na jihovýchodní Moravě
Vedoucí práce	Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Dufková, J. 2009: Stanovení erodovatelnosti půdy v podhůří Bílých Karpat. In Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference Půda v průmyslové krajině. Ostrava: Česká pedologická společnost, Univerzita Palackého v Olomouci, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-87371-00-8, s.89-92.

Holý, M. 1978: Protierozní ochrana. SNTL/ALFA, Praha, 288s.

Janeček, M. a kol. 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí - metodika. ČZU Praha, Fakulta životního prostředí, 117s.

Podhrázká, J., Dufková, J. 2005: Protierozní ochrana půd. MZLU Brno. ISBN 1214-5815, 99s.

Švehlík, R. 1969: Větrná eroze na moravské straně jižní části Bílých Karpat. Sborník

Československá ochrana přírody, č.9, Bratislava, s.3-125.

Švehlík, R. 2007: Větrná eroze na jihovýchodní Moravě v obrazech. Českomoravská komora pro pozemkové úpravy. ISBN 80-86-485-02-1. 40s.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Větrná eroze se vyskytuje i na těžkých půdách, a to v podhůří Bílých Karpat, kde se projevuje zejména v zimním a předjarním období. Vlivem nízkých teplot dochází k rozpadu půdní struktury a půdy jsou zde silně ohrožovány větrnou erozí. V teoretické části bakalářské práce bude zohledněna problematika eroze, tj. vznik, působení, rozdělení, faktory podmiňující výskyt eroze, rozšíření a důsledky včetně návrhu protierozních opatření. V praktické části bude v laboratorních podmínkách simulován vliv nízkých teplot na rozpad agregátů těžké půdy z vybrané experimentální plochy. K experimentálnímu výzkumu se použije klimatizační komora, kde bude sledován proces zmrazení - rozmrazení půdy a proces vysušení půdy mrazem.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o větrné erozi na jihovýchodní Moravě. V rámci teoretické části bakalářské práce je shrnuta problematika eroze a její rozdělení. Dále je podrobněji popsána větrná eroze, její příčiny, stanovení erodovatelnosti a ochranná opatření. V části praktické je zkoumán vliv nízkých teplot na rozpad půdních agregátů těžkých půd z vybraných experimentálních ploch. Pro simulaci rozpadu půdních agregátů je použit proces zmrznutí a rozmrznutí a proces vysušení půdy mrazem. U zkoumaných půdních vzorků je určena náchylnost k větrné erozi pomocí hranice erodovatelnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

větrná eroze, rozpad půdních agregátů, nízké teploty, hranice erodovatelnosti

ABSTRACT

This bachelor thesis is about wind erosion in southeast Moravia. The theoretical part of the thesis summarizes the problems about erosion and her division. Next, there is described wind erosion, its causes, assessment of erodability and safety measures. In the practical part is inspected effect of low temperatures on breakdown of soil aggregates of heavy soils collected from experimental areas. Breakdown of soil aggregates is simulated by freeze-thawing and freeze-drying process. For examined soil samples is determined proneness to wind erosion by boundary of erodability.

KEYWORDS

wind erosion, soil aggregates breakdown, low temperatures, boundary of erodability

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Kateřina Němcová *Větrná eroze na jihovýchodní Moravě*. Brno, 2020. 95 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Větrná eroze na jihovýchodní Moravě* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 5. 6. 2020

Kateřina Němcová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Větrná eroze na jihovýchodní Moravě* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 5. 6. 2020

Kateřina Němcová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat své skvělé vedoucí bakalářské práce Ing. Ivaně Kameníčkové, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady, trpělivost a odbornou pomoc při zpracování bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	PŮDNÍ EROZE	11
2.1	Důsledky eroze	11
2.1.1	Ztráta půdy	11
2.1.2	Odnos a sedimentace částic	11
2.1.3	Odnos chemických látek	12
3	ROZDĚLENÍ EROZE	13
3.1	Rozdělení eroze podle intenzity	13
3.2	Rozdělení eroze podle činitele	13
3.2.1	Vodní eroze	13
3.2.2	Sněhová eroze	14
3.2.3	Ledovcová eroze	15
3.2.4	Antropogenní eroze	16
4	VĚTRNÁ EROZE	18
4.1	Pohyb půdních částic vlivem větru	19
4.1.1	Pohyb v podobě suspenze	19
4.1.2	Pohyb skokem	20
4.1.3	Pohyb sunutím	20
4.2	Stanovení erodovatelnosti půdy větrem	21
4.2.1	Terénní metody měření intenzity větrné eroze	22
4.2.2	Laboratorní simulace rozpadu půdních agregátů	24
4.2.3	Metoda simulace přemrzání půdních agregátů podle Kozlovsky Dufkové	24
4.3	Větrná eroze na těžkých půdách	27
4.3.1	Faktory způsobující větrnou erozi na těžkých půdách	27
4.3.2	Oblasti výskytu větrné eroze na těžkých půdách	30
4.3.3	Časový výskyt větrné eroze na těžkých půdách	32
4.3.4	Intenzita větrné eroze na těžkých půdách	33
4.3.5	Fyzikální podstata procesu větrné eroze na těžkých půdách	33
5	OCHRANA PROTI VĚTRNÉ EROZI	35
5.1	Organizační opatření	35
5.1.1	Výběr pěstovaných plodin a delimitace druhů pozemků	35
5.1.2	Pásové střídání plodin	36
5.1.3	Tvar a velikost pozemku	36
5.2	Agrotechnická opatření	37
5.2.1	Úprava struktury půdy	37
5.2.2	Zlepšení vlhkostního režimu lehkých půd	37
5.2.3	Ochranné obdělávání půdy	37
5.3	Technická opatření	38

5.3.1	Dělení větrolamů	39
5.3.2	Dřeviny používané ve větrolamech	40
6	PRAKTICKÁ ČÁST	42
6.1	Použité půdní vzorky	42
6.1.1	Odběr půdních vzorků	42
6.1.2	Rozbor půdních vzorků	43
6.2	Úprava půdních vzorků	44
6.3	Agregátová analýza	45
6.3.1	Postup při agregátové analýze	45
6.3.2	Výsledky agregátové analýzy	46
6.4	Proces zmrznutí a rozmrznutí (FT).....	49
6.4.1	Postup při procesu FT	51
6.4.2	Výsledky procesu FT	52
6.4.3	Posouzení půdních vzorků na náchylnost k větrné erozi při simulaci procesu FT	56
6.5	Proces vysušení půdy mrazem (FD)	59
6.5.1	Postup při procesu FD	60
6.5.2	Výsledky procesu FD.....	60
6.5.3	Posouzení půdních vzorků na náchylnost k větrné erozi při simulaci procesu FD	62
7	ZÁVĚR.....	65
8	POUŽITÁ LITERATURA	67
	SEZNAM TABULEK	68
	SEZNAM GRAFŮ	71
	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	73
	PŘÍLOHA Č. 1 – AGREGÁTOVÁ ANALÝZA.....	76
	PŘÍLOHA Č. 2 – URČENÍ NEF_z PŘI PROCESU FT	79
	PŘÍLOHA Č. 3 - URČENÍ NEF₂ PŘI PROCESU FT	90
	PŘÍLOHA Č. 4 - URČENÍ NEF PŘI PROCESU FD	93

1 ÚVOD

Zrychlená eroze poškozuje majetek, značně ohrožuje zemědělskou výrobu a dokonce i zdraví lidí. Dále způsobuje rozrušování povrchu půdy a transport půdních částic v takové míře, že se nestíhají obnovit půdotvorným procesem. V České republice je nejvíce zastoupena vodní a větrná eroze. [2, 3]

Při erozi dochází k nenávratné ztrátě půdní hmoty (mnohdy ve velkém měřítku), ke ztrátě živin a humusu v půdě a ke snížení úrodnosti půdy. Často nastává odkrytí půdního podkladu. Vlivem eroze půda přichází o jemné částice, čímž se mění textura i struktura půdy. Půda tak přichází o schopnost udržovat vodu. Rostliny pak nemají v suchém období dostatečnou vláhu. Unášené půdní částice zanášejí vodní nádrže, čímž se zmenšuje kapacitní prostor. [2, 3]

Kromě odnášení půdních částic, dochází také k transportu chemických látek používaných v zemědělství a k odnosu chemických látek způsobených odpady z průmyslu, které jsou uloženy nad nebo pod povrchem půdy. V zemědělství se jedná především o látky v důsledku hnojení a používání různých druhů pesticidů. Tyto látky působením eroze vstupují do povrchových i podzemních vod a snižují jejich jakost. Dusík a fosfor, obsažený v hnojivech, způsobuje eutrofizaci v povrchové vodě a snižuje její rekreační i jiné využití. [2, 7]

V České republice větrná eroze ohrožuje téměř 23 % zemědělské půdy. Vlivem větrné eroze dochází k odkrytí kořenů rostlin a k jejich následnému uvadání. Půdní částice unášené větrem způsobují zdravotní potíže dýchacího ústrojí a oční infekce. Při opětovném ukládání půdních částic dochází k zavátí rostlin, kvůli čemuž klesají hektarové výnosy. Při silnějších erozních procesech může dojít k zavátí nebo k porušení staveb a terénních úprav. [2, 3, 7, 11]

V rámci bakalářské práce probereme problematiku eroze a zaměříme se na větrnou erozi na těžkých půdách při vlivu nízkých teplot.

2 PŮDNÍ EROZE

Původ slova eroze je v latinském slově erodere (rozhlodávat), které poukazuje na rozkládání půdního povrchu. Eroze způsobuje rozrušování půdního povrchu, transport uvolněných částic a jejich následné ukládání. Eroze vzniká vlivem různých činitelů. [2]

Důležité jsou klimatické a hydrologické faktory, které se liší v závislosti na zeměpisné poloze a nadmořské výšce. Vznik a průběh eroze je ovlivněn teplotou ovzduší, výparem, srážkami, povrchovým odtokem a směrem i silou větrů. Důležitý je výskyt a také intenzita srážek. [2]

2.1 DŮSLEDKY EROZE

2.1.1 Ztráta půdy

Eroze způsobuje uvolnění a transport půdní hmoty, kvůli čemuž dochází k její nenávratné ztrátě ve velkém množství, což pocítují zejména zemědělci. Půda přichází nejen o uvolněné půdní částice, ale i o humus a rostlinné živiny, což zapříčiňuje snížení úrodnosti půdy, zhoršení kvality sklizně a snížení hektarových výnosů. [3, 7]

Při nižší intenzitě eroze, dochází k odnosu jemných částic, v důsledku čehož se mění textura i struktura půdy. Půda dále přichází o schopnost udržovat vodu. V suchém období rostliny nemají dostatek vláhy, což má nepříznivý vliv na jejich růst. [2, 3]

2.1.2 Odnos a sedimentace částic

Půdní částice, které jsou odnášeny vlivem eroze, způsobují mnohé škody. Jemné částice půdy odnášené vodou tvoří velkou část splavenin, které zvyšují niveletu dna v tocích, zanášejí stavby na tocích a vodní nádrže. Snižují jejich kapacitu a životnost staveb. Čištění od splavenin je mnohdy velmi nákladné. [7]

Při unášení půdních částic větrem dochází ke znečištění atmosféry. Kvůli tomu lidé i zvířata trpí zdravotními potížemi dýchacího ústrojí a očními infekcemi. [7]

Problémem je, že živiny a půdní hmota, které jsou transportovány vlivem eroze na jiné pozemky a do vodních toků, způsobují škody, za které majitel erodovaného území neplatí. Majitel erodovaného území má finanční ztráty jen za škody na svém pozemku. [3]

2.1.3 Odnos chemických látek

Při odnášení půdních částic dochází k odnosu chemických látek používaných při zemědělské produkci a těch, které mají původ z průmyslových a zemědělských odpadů. Tyto odpady nemusí být jen uskladněné nad povrchem půdy, ale i pod ním. Odnášené chemické látky mohou nabývat různé úrovně toxicity, a tak tvoří reálné nebezpečí nejen pro lidi. Problém tkví i v tom, že se chemické látky dostávají do pohybu velmi snadno. Jejich odnos způsobuje především vítr a voda. Podstatné jsou škodliviny obsažené v ochranných prostředcích proti škůdcům ve formě pesticidů. [7]

Tyto látky působením eroze vstupují do povrchových i podzemních vod a snižují jejich jakost. Dusík a fosfor, obsažen v hnojivech, způsobuje eutrofizaci v povrchových vodách a v určité míře znemožňuje její rekreační i jiné možnosti využití. Procentuálním zastoupením se většinou dusík vyskytuje v intervalu 0,1 až 4,0 % vzhledem k celkovému obsahu látek v usazeninách. V přepočtu na sušinu se celková koncentrace fosforu obvykle pohybuje na g sediment od 600 do 6 000 µg. [2, 9]

3 ROZDĚLENÍ EROZE

Půdní eroze se dělí podle rozdílných kritérií do daných skupin.

3.1 ROZDĚLENÍ EROZE PODLE INTENZITY

Půdní eroze se dělí na normální (neboli přirozenou) a zrychlenou. Během normální eroze jsou odnesené půdní částice nahrazeny částicemi vytvořenými půdotvorným procesem, a tak nedochází k porušování přírodní rovnováhy. Avšak při zrychlené erozi dochází k rozrušování povrchu půdy a transportu půdních částic v takové míře, že se půdní hmota nestihá obnovit a tak se radikálně mění textura i struktura půdy. [2, 7, 9]

3.2 ROZDĚLENÍ EROZE PODLE ČINITELE

Jednotlivé druhy eroze se rozlišují podle činitele, který je způsobuje. [2]

Rozeznáváme:

- vodní erozi,
- sněhovou erozi,
- ledovcovou erozi,
- antropogenní erozi,
- větrnou erozi. [2]

Půdní eroze může být způsobována jednotlivými činiteli eroze, anebo může být tvořena jejich kombinacemi. V České republice je orná půda ohrožena především vodní a větrnou erozí. [2, 7]

3.2.1 Vodní eroze

Vodní erozi způsobuje kinetická energie tvořená deštěm při dopadu na povrch půdy a mechanická síla způsobená povrchovým odtokem vody. Vodní eroze se dělí podle rozrušování povrchu půdy na plošnou, výmlovou a proudovou erozi. [2]

Plošná eroze

Plošná eroze se vyznačuje rozrušováním půdního povrchu a transportem uvolněných částic na celé ploše zasažené oblasti. Jedná se o velkoplošné vymývání jemných půdních částic a chemických látek. Půdy zasažené plošnou erozí obsahují větší podíl hrubozrnných částic a postrádají živiny. Za to půdy, kde se tyto částice usazují, mají větší podíl jemnozrnných částic a více živin. Mění se tak textura půdy. Plošná eroze zapříčiňuje nerovnoměrný růst pěstovaných plodin. Při silnější plošné erozi dochází k odnosu půdních částic po vrstvách. [2]

Výmolová eroze

Výmolová eroze je způsobena soustředěním vody tekoucí po půdním povrchu. Vytváří mezistupeň mezi plošnou a proudovou erozí. Výmolová eroze zapříčiňuje různé stupně zahloubení stékající povrchové vody a to od mělkých zářezů, přes hlubší rýhy až k hlubším výmolům a stržím. [2]

Proudová eroze

Proudová eroze vzniká působením proudu ve vodních tocích. Rozlišujeme erozi dnovou a břehovou. Eroze dnová působí ve směru osy toku na jeho dno. Eroze břehová působí kolmo na směr toku, kde rozhlašuje jeho břehy. [2]

3.2.2 Sněhová eroze

Sněhová neboli nivální eroze vzniká zejména v podhorských oblastech. Můžeme ji dělit na tři typy. [7,9]

- K prvnímu typu sněhové eroze dochází při valení sněhové laviny. Eroze vzniká velkými tlaky a rychlostí sněhu. Ke sněhové erozi dochází často v celé dráze pohybu sněhové laviny. [7]
- Druhý typ sněhové eroze vzniká při jarním tání, kdy se uvolněné vrstvy sněhu pomalu posouvají po již částečně rozmrzlém půdním povrchu. [7]

- Ke třetímu a nejdůležitějšímu typu dochází taky v jarním období. Energie, která způsobuje sněhovou erozi, je v tomto případě tvořena odtékáním vody při tání sněhu. [9]

Povrch půdy v zimních měsících často není chráněný vegetačním pokryvem, a tak se sněhová eroze vyskytuje na těchto nechráněných plochách ve větší míře. Na její zmírnění se hodí vysazení mezplodin a ozimých obilovin, které chrání půdu i v zimě. [9]

Půdní vlhkost se zvyšuje nejen vlivem dešťových srážek a táním sněhu, ale i snížením výparu při nižších teplotách. Navíc rostliny v období vegetačního klidu spotřebovávají z půdy menší množství vody. [9]

K největšímu rozpadu půdních agregátů dochází vlivem vysoké vlhkosti v půdě a změnou teplot pohybující se okolo 0 °C. Dochází tak ke střídavému zamrzání a rozmrzání půdy. Při zmrznutí vody se zvětší její objem, a tak dochází kromě rozpadu půdních agregátů i k vytváření půdních trhlin. [9]

Agregát je shluk jednotlivých půdních částic, jež se silněji drží spolu pohromadě, nežli s okolními částicemi. Vznikají při biologických a fyzikálně-chemických procesech v půdě. [1]

Je obtížné určit ztráty půdy při sněhové erozi. Množství vody, vytvořené táním sněhu, závisí na mnoha faktorech, například na kvalitě a hustotě sněhové pokrývky, průběhu teplot během dne, a zda se sníh nachází na přímém slunci, či nikoliv. Povrchový odtok vody z tání sněhu způsobuje v povrchu půdy rýžky a rýhy hluboké i několik centimetrů. [9]

3.2.3 Ledovcová eroze

Ledovcová neboli glaciální eroze vzniká pohybem ledovců. Ty se uvádí do pohybu vlivem tíže. Při pohybu do údolí ledovec nejen obrušuje a vyhlazuje, ale i rýhuje zemský povrch a unáší velké množství hornin. Ledovec také může přenášet masivní kameny, kterým říkáme bludné balvany. [2, 4]

Usazené horniny vytvářejí morény, které dělíme na morény svrchní (k transportu hornin dochází na povrchu ledovce), morény spodní (k transportu hornin dochází při dně

ledovce), morény boční (k transportu hornin dochází při okrajích ledovce), morény střední (vznikají při sloučení bočních morén od dvou ledovcových proudů) a morény čelní (vznikají u paty ledovce). [2]

Ledovcová eroze se v dnešní době v České republice nevyskytuje, ale pozůstatky z dob čtvrtohorního zalednění jsou patrné především v Krkonoších. [7]

3.2.4 Antropogenní eroze

Antropogenní eroze je způsobena vlivem činnosti člověka, který ji způsobuje přímo i nepřímo. Při přímém působení se jedná o urbanizaci společnosti a o výstavbu technické infrastruktury. Nepřímo člověk nepříznivě ovlivňuje erozi zhoršením půdních vlastností, výsadbou plodin, které jsou náchylné k erozi, atd. [7]

Antropogenní eroze se dělí na různé typy eroze podle způsobu vzniku. Nejvýznamnější z nich jsou eroze způsobené: intenzifikací zemědělské výroby, stavbou komunikací a urbanizací. Dalšími typy antropogenní eroze jsou například eroze způsobené: těžbou nerostů, výstavbou lanovkových drah a výstavbou lyžařských sjezdovek. [7]

Eroze způsobená intenzifikací zemědělské výroby

Snaha co nejvíce zefektivnit zemědělskou výrobu, aby se docílilo k co nejvyšším ziskům v co nejkratší době, vede k vytváření velkých celků a pěstování plodin, které dostatečně nechrání půdu před erozí. Tyto celky se obdělávají jednotně a mnohdy se při jejich obdělávání a výsadbě plodin nebere ohled na členitost terénu. Vlivem těžké mechanice, potřebné pro obdělávání velkých zemědělských celků, se zmenšuje schopnost infiltrace půdy. [7]

K erozi půdy může dojít i kvůli chovu dobytka. Dobytek kromě spásání ochranného travního porostu může i vyšlapat chodníčky, kterými odtéká povrchová voda. Dochází tak k prohlubování těchto chodníků a k tvorbě rýh a výmolů. [7]

Eroze způsobená stavbou komunikací

V dnešní době je snaha všechny pozemky a stavby zpřístupnit cestami. Také zemědělské pozemky je potřeba zpřístupnit a zajistit cesty pro přesun zemědělské mechanizace. Při vyšších sklonech polních cest dochází vlivem povrchového odtoku k jejich prohlubování. V náchylných půdách k erozi se tak při špatném navržení polních cest mohou stát i hluboké strže. Při výstavbách komunikací vyšších tříd dochází k erozi jejich bočních svahů v důsledku absence vegetace a jejich nedostatečného zpevnění či zajištění. Tato eroze je znatelná především při výstavbě dálnic. [7]

Eroze způsobená urbanizací

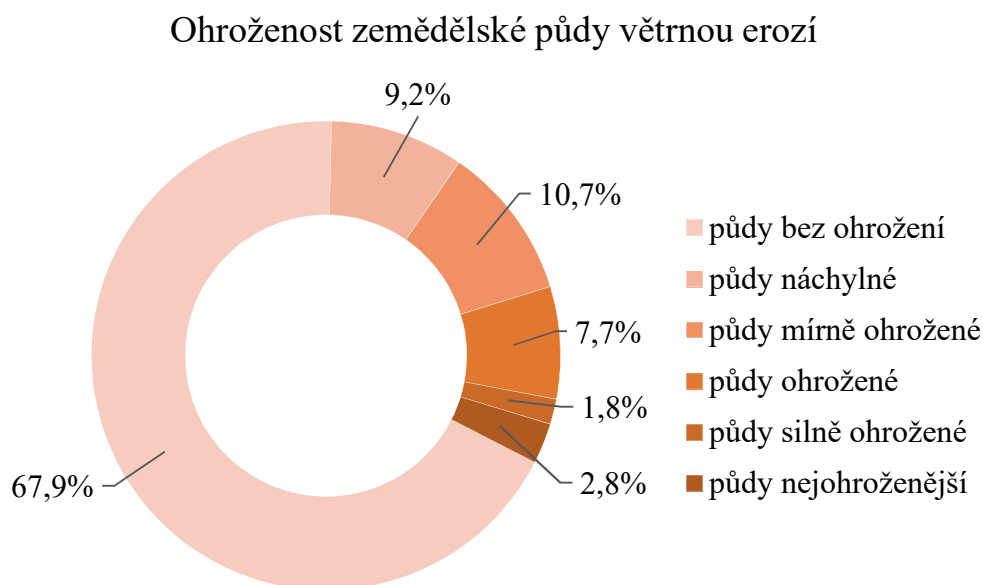
Při urbanizaci společnosti dochází k výstavbám sídlišť. Při stavebních pracích se zhutněním zabraňuje infiltraci vody do půdy. Navíc při pohybu stavební mechaniky vzniká spousta odtokových drah, kterými odtéká povrchová voda. Vzniká tak velké množství uvolněných splavenin. [7]

4 VĚTRNÁ EROZE

Větrná eroze je způsobena kinetickou energií větru, která při působení na zemský povrch vyvolává řadu dějů. Pokud vítr působí na sypký materiál, jedná se o větrnou erozi. Avšak děj, při kterém unášené částice větrem obrousují pevný horninový útvar nebo pasivní eolický sediment, nazýváme koraze. [2, 5]

Větrná eroze je tvořena ze tří dějů:

- První děj nazýváme abraze. Při ní vítr rozrušuje sypký materiál na půdním povrchu a vytváří tak uvolněné půdní částice o různé velikosti. [2, 5]
- Dalším dějem je deflace, při které dochází k transportu půdních částic vlivem větru. [2, 5]
- Posledním dějem je sedimentace. Jedná se o usazování půdních částic. Dochází k ní, pokud kinetická energie větru klesne natolik, že je menší než gravitační síla působící na unášené částice větrem. Usazeniny mohou vytvářet různé útvary od nepatrného povlaku až po velké závěje. [2, 5]



Graf 1: Potenciální ohrožené zemědělské půdy v České republice větrnou erozí za rok 2019. [11]

Pokud dnešní hospodaření se zemědělskou půdou bude pokračovat, můžeme očekávat nárůst ohrožení větrnou erozí. [11]

4.1 POHYB PŮDNÍCH ČÁSTIC VLIVEM VĚTRU

U transportu půdních částic větrem jsou důležité jejich rozměry. Rozeznáváme tři základní pohyby unášených částic: v podobě suspenze, skokem a sunutím. Od povrchu půdy směrem vzhůru se průměrná rychlost větru zvyšuje exponenciálně. [2, 5]

4.1.1 Pohyb v podobě suspenze

Jedná se o pohyb drobných půdních částic, které mají průměr menší než 0,1 mm. Tyto částičky jsou tak malé, že se vznášejí ve vzduchu vlivem větru a můžou urazit i velké vzdálenosti. Mohou tak vznikat prašné bouře, které obsahují velký počet těchto částíček. [2, 5]

Pohyb unášených částic, při nulové rychlosti větru, se řídí Stokesovým zákonem, který popisuje vztah mezi rychlostí částic padající prostředím a odmocninou jejich průměrů. Tento vztah udává aerorozměr, neboli průměrnou rychlost pohybu částic menších než 0,1 mm. [2]

Stokesův vztah:

$$F = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot (\rho_1 - \rho)}{\eta} \cdot g \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}], \quad (4.1)$$

kde

F – aerorozměr $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$,

r – poloměr částic $[\text{m}]$,

ρ_1 – hustota suspendovaných částic $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$,

ρ – hustota prostředí $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$,

η – dynamická viskozita prostředí $[\text{Pa} \cdot \text{s}]$,

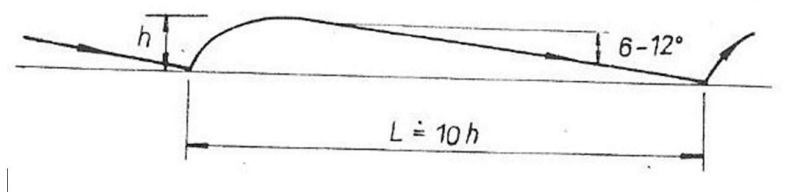
g – gravitační zrychlení $[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$. [2]

Po upravení rovnice dosazením $\eta = \rho \cdot \nu$, kde ν je kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] dostaneme vztah [2]:

$$F = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot (\frac{\rho_1}{\rho} - 1)}{\nu} \cdot g \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]. \quad (4.2)$$

4.1.2 Pohyb skokem

Uvolněné půdní částice jsou vlivem větru nejčastěji přesouvány skokem. Jde o sled skoků, kterými se částice pohybují po povrchu půdy. Jedná se o částice střední velikosti, které jsou příliš velké, aby se mohly pohybovat v podobě suspenze, ale zároveň jsou dost lehké, aby je mohl vítr nadzvednout nad půdní povrch. Velikost těchto částic je 0,05 až 0,50 mm, nejčastěji se ovšem jedná o částice 0,10 až 0,15 mm. Unášené částice při dopadu na půdní povrch uvolňují další částice. [2, 5]



Obrázek 1: Dráha částic při pohybu skokem podle N. Hudsona. [2]

4.1.3 Pohyb sunutím

Částice, které jsou větší a těžší, vítr posouvá sunutím. Velikost těchto částic je 0,5 až 1-2 mm, ale mohou být i větší. Velikost sunutých částic není ze shora omezena. [5]

Pro částice o průměru 0,1 až 5 mm se dá rychlost větru, při které dochází k jejich sunutí, vypočítat ze vztahu od M. A. Velikanova:

$$\frac{v^2}{g \cdot d} = \alpha + \frac{\beta}{d}, \quad (4.3)$$

kde

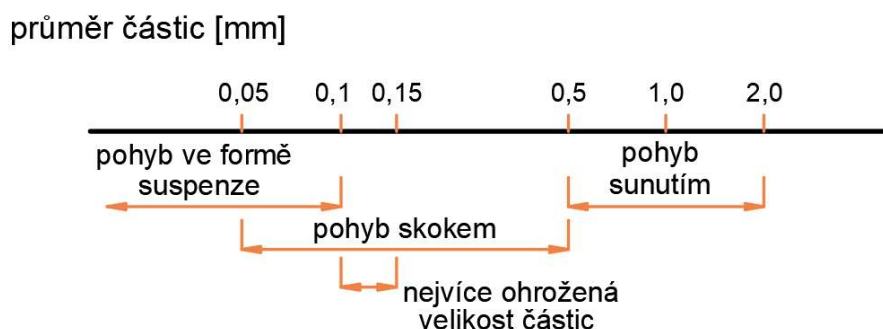
v – rychlost větru při zemi [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

g – gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

d – průměr půdních částic [m],

α – empiricky stanovená konstanta; $\alpha = 14$,

β – empiricky stanovená konstanta; $\beta = 0,006$. [2]



Obrázek 2: Druhy pohybů půdních částic vlivem větru podle N. Hudsona. [2]

4.2 STANOVENÍ ERODOVATELNOSTI PŮDY VĚTREM

Erodivatelnost neboli náchylnost půdního povrchu na větrnou erozi se dělí na skutečnou a potenciální. [3]

Skutečná erodovatelnost se stanoví měřením v terénu. Pro její výpočet je potřeba zjistit okamžité hodnoty rychlosti větru a vlhkosti půdy. [3]

Potenciální erodovatelnost se používá pro volbu a návrh protierozních opatření a dá se u lehkých půd vypočítat ze vztahu, který vychází ze závislosti erodovatelnosti půdy na obsahu jílnatých částic v dané půdě:

$$E = 875,52 \cdot 10^{-0,0787M} \quad [\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}], \quad (4.4)$$

kde

E – erodovatelnost půdy větrem [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$],

M – obsah jílnatých částic v půdě [%]. [3]

Půda se pokládá za náchylnou k větrné erozi, pokud její povrchová vrstva obsahuje méně než 40 % neerodovatelné frakce. [3]

4.2.1 Terénní metody měření intenzity větrné eroze

Intenzita větrné eroze se dá zkoumat pomocí různých metod (vegetační, pedologická, nivelační, morfologická, volumetrická, fotogrammetrická, historická), avšak jako nejvhodnější se jeví metoda tunelová a deflametrická. [1]

Tunelová metoda

Tato metoda se používá především v laboratorních podmínkách. Prostřednictvím aerodynamického tunelu se napodobují větrné podmínky působící v terénu na půdní povrch. Aerodynamický tunel se dělí z obecného funkčního hlediska na tunel s oběhem uzavřeným a s oběhem otevřeným, přičemž oba tyto typy tunelů mohou mít zkušební prostor uzavřený nebo otevřený. Existují tak čtyři konstrukce tunelů, ale nejčastěji se při experimentech neklasické aerodynamiky používá tunel se zkušebním prostorem uzavřeným, který má otevřený oběh. [1]

Deflametrická metoda

Při této metodě se používá zařízení zvané deflametr, který slouží k odchytu větrem unášených půdních částic. Kromě deflametrů, využívaných přímo v terénu, existují i konstrukce používané při experimentech v laboratořích. [1]

Existuje celá řada různých deflametrů o různých konstrukcích, mezi osvědčené patří například:

- lapač Bagnold – je tvořen sadou boxů umístěných nad sebou tak, aby mohly zachytávat všechny částice unášené proudem vzduchu a to o šířce přístroje a v různých výškách, viz obrázek č. 3,
- COX Sand Catcher – jedná se o jednoduchý lapač, který zachytává půdní částice a to ze všech stran pomocí otvoru umístěného v horní části přístroje, viz obrázek č. 4,
- akustické čidlo saltifon – pomocí mikrofону se nahrává dopadání skákajících částíček, ale jeho nevýhodou je, že neuchovává materiál, a tak nelze stanovit zrnitostní složení unášených půdních částic, viz obrázek č. 5,

- čidlo Sensit – jde o piezoelektrický senzor saltace, jenž dokáže nejen stanovit množství transportovaných částic, ale i kritickou rychlost větru a intenzitu větrné eroze, viz obrázek č. 6. [1]



Obrázek 3: Lapač Bagnold. [1]



Obrázek 4: COX Sand Catcher. [1]



Obrázek 5: Akustické čidlo saltifon. [1]



Obrázek 6: Čidlo Sensit. [1]

4.2.2 Laboratorní simulace rozpadu půdních agregátů

Rovnice pro výpočet intenzity větrné eroze jsou založené na předpokladu, že u půd s vyšším obsahem jílnatých částic nedochází k větrné erozi. Větrná eroze však v některých oblastech prokazatelně způsobuje škody i na těžkých půdách. Tato eroze tak není vyhodnotitelná pomocí objektivních výpočtových metod. Pro zjištění erodovatelnosti těžkých půd se používají laboratorní simulace rozpadu půdních agregátů. [1]

U simulace rozpadu půdních agregátů se zkoumá působení nízkých teplot na daný vzorek půdy. Střídá se zde proces zmrznutí a rozmrznutím (dále značeného „FT“) a zkoumá se i proces vysušení půdy mrazem (dále značeného „FD“). [1]

U nás se vlivem namrzání půdních agregátů zabýval Stred'anský, jenž pomocí aerodynamického tunelu měřil odnos částic z přemrznutých vzorků. Z výsledků tohoto výzkumu vyplývá, že při přemrznutí půdy se zmenšuje stabilita půdních agregátů, a tak je půda náchylnější k větrné erozi. [1]

Dále se v České republice zabývá laboratorní simulací rozpadů půdních agregátů Kozlovsky Dufková, viz kapitola 4.2.3. [1]

4.2.3 Metoda simulace přemrzání půdních agregátů podle Kozlovsky Dufkové

Tato metoda simuluje vliv klimatických podmínek, který způsobuje rozpad půdních agregátů u těžkých půd v podhůří Bílých Karpat. Kvůli rozpadu půdních agregátů se půdy stávají náchylnější k větrné erozi. [1]

Dobu odběru vzorků pro tuto metodu je třeba volit v chladném období, tj. podzim až jaro, přičemž půdní vzorky by se měly odebírat v co nejmenší hloubce, protože právě povrchová vrstva půdy je vystavená vlivům mrazů a účinkům větrné eroze, a tak v ní dochází ke změně agregátové skladby. [1]

Odebrané vzorky se nechávají na vzduchu volně vysušit a to při pokojové teplotě (~ 20 °C). Tato metoda sušení se volí kvůli tomu, že při vysokých teplotách se mohou částečně spálit organické látky, a navíc se kvůli některým jílovým minerálům mohou vytvořit velice stabilní agregáty i u půd, jež by za běžných podmínek byly nestabilní.

Z těchto důvodů není vhodné sušení v sušárně. Laboratorní analýzy by se měly udělat co nejdříve po vysušení půdy, protože stabilita agregátů roste s dobou skladování. [1]

Po vysušení vzorků se provede agregátová analýza, při čemž je vhodný suchý způsob prosévání pomocí sady sít a vibrační třepačky, který oproti mokrému způsobu méně rozrušuje půdní agregáty. Výsledkem agregátové analýzy je zjištění množství neerodovatelné frakce (dále značené „NEF“). Sada sít se skládá ze síta s velikostí ok 0,8 mm a druhého síta s velikostí ok 2,0 mm. Síto s velikostí ok 0,8 mm se volí kvůli tomu, že se obecně částice větší než 0,8 mm pokládají za nenáchylné vůči odnosu větrem, a síto s velikostí ok 2,0 mm se používá, protože právě tato hodnota se udává jako hranice erodovatelnosti těžkých půd pro oblasti jihovýchodní Moravy. [1]

Po zvážení vzorku se stanoví procentuální obsah NEF, a to jak na sítu s velikostí ok 0,8 mm (dále značené „NEF_{0,8}“ – jedná se o neerodovatelnou frakci obsahující částice větší než 0,8 mm avšak menší než 2,0 mm), tak na sítu s velikostí ok 2,0 mm (dále značené „NEF₂“ – jedná se o neerodovatelnou frakci obsahující částice větší než 2,0 mm). NEF_{0,8} dohromady s NEF₂ pro každý vzorek půdy zvlášť, se vystaví působení nízkých teplot v laboratorních podmínkách. [1]

Rozpad půdních agregátů je ovlivněn půdní vlhkostí. Proto, než se NEF vystaví nízkým teplotám, se ovlhčí na vlhkosti, které se reálně vyskytují v přirozených podmínkách:

- plná vodní kapacita Θ_s – maximální množství vody, kterou dokáže půda pojmout, jedná se o úplné zaplnění půdních pórů vodou,
- polní vodní kapacita Θ_{PK} – vlhkost půdy, která je na hranici mezi gravitační a kapilární vodou, udává maximální množství vody, jež může půda zadržet pomocí kapilárních pórů po delší dobu,
- bod vadnutí Θ_v – vlhkost půdy, při které nejsou rostliny trvale dostatečně zásobeny půdní vodou a dochází k jejich vadnutí,
- vyschlá půda na vzduchu Θ_0 – vzorek vysušený při pokojové teplotě. [1]

Proces zmrznutí a rozmrznutím

Při simulování FT se používají hodnoty $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro stav zmrznutí a $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro stav rozmrznutí. Hodnota teploty $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ je zvolena kvůli tomu, že kolem této hodnoty se začínají tvořit krystalky ledu v závislosti na koncentraci půdního roztoku. Vzorky NEF, které mají příslušné vlhkosti, se uzavřou do dóz, kvůli zamezení výparu, a nechají se vystavit těmto teplotám, při čemž nejdříve na 24 hodin teplotě $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a poté na stejnou dobu teplotě $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento cyklus se několikrát opakuje, aby simuloval přirozené podmínky v terénu, kdy během zimy dochází k opakování procesu zmrznutí a rozmrznutí půdy. [1]

Po každém cyklu se nechá vzorek vysušit, opět se při pokojových teplotách provede agregátová analýza, díky níž se zjistí obsah NEF. $\text{NEF}_{0,8}$ a NEF_2 , která zůstanou na sítích, se opět ovlhčí na danou vlhkost, kterou měl vzorek před uskutečněním prvního cyklu, a opět podrobí procesu FT. [1]

Vzorek se nechává podrobovat cyklům FT dokud změna hmotnosti NEF po jednotlivých cyklech není větší než 1 %. Zjistí se tak kolik cyklů FT je potřeba, aby se agregáty přestaly rozpadat. [1]

Proces vysušení půdy mrazem

Podobně probíhá i simulace FD. Vzorky NEF o příslušných vlhkostech se vystaví nejdříve na 24 hodin teplotě $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a poté na stejnou dobu teplotě $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzorky při procesu FD jsou v dózách, které jsou otevřeny, dochází tak k sublimaci zmrzlé vody, která je nejvyšší při teplotě okolo $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzorky se nechávají vystavět jednotlivým cyklům FD, dokud nezůstane množství NEF na sítích konstantní. [1]

4.3 VĚTRNÁ EROZE NA TĚŽKÝCH PŮDÁCH

I když se u těžkých půd obecně předpokládá, že vůči odnosu větrem nejsou náchylné, tak v některých oblastech dochází k jejich ohrožení větrnou erozí. V České republice se jedná zejména o oblasti pod Bílými Karpaty, kde větrná eroze způsobuje velké škody i na půdách těžkých. K rozpadu půdních agregátů dochází zejména v zimním a předjarním období, které jsou charakteristické nejnižšími teplotami a srážkami v průběhu roku. [1]

4.3.1 Faktory způsobující větrnou erozi na těžkých půdách

Větrnou erozi na těžkých půdách ovlivňuje mnoho faktorů.

Pedologický faktor

Půda se skládá z půdních částic, které se dělí na erodovatelné a neerodovatelné. Při působení větru se částice erodovatelné dostávají do pohybu, zatímco částice neerodovatelné zůstávají relativně v klidu. Neerodovatelné částice vyčníváním z půdního povrchu tvoří překážku pro vítr, a tím chrání erodovatelné částice. Podle poměru erodovatelných a neerodovatelných částic v půdním povrchu, je půda různě náchylná na větrnou erozi. [1]

Mezní hranice velikosti půdních částic, které se vlivem větru dostávají do pohybu, se jmenuje hranice erodovatelnosti půdy. Podle výzkumu, prováděném v aerodynamickém tunelu, se stanovila hranice erodovatelnosti půdy na 0,82 mm. Jenže při výzkumu větrné eroze na těžkých půdách bylo zjištěno, že tato hranice není dostatečná, neboť se dostává do pohybu poměrně velké množství částic větších než 0,8 mm. Pro oblasti jihovýchodní Moravy byla na základě výzkumu posunuta hranice erodovatelnosti půdy na hodnotu 2,0 mm. [1]

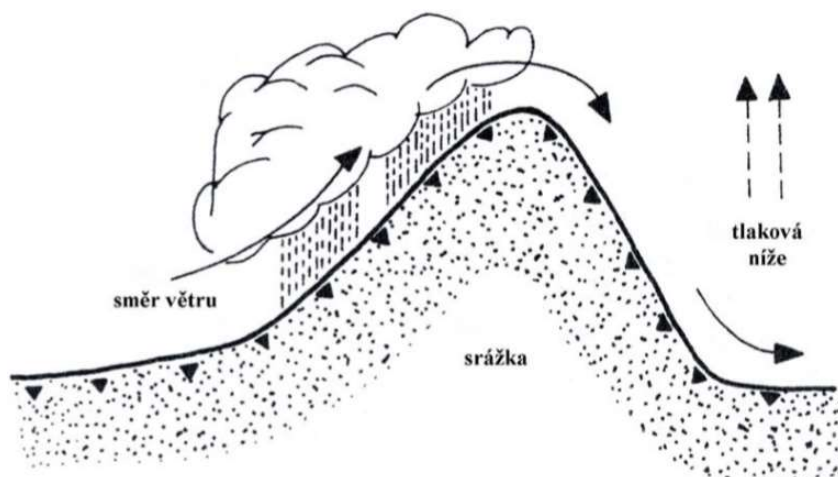
Švehlík, na základě svých výzkumů, upřesnil hranice erodovatelnosti, viz tabulka č. 1. Z této tabulky je patrné, že hranice erodovatelnosti je tím větší, čím je půda těžší a dále je patrné, že erodovatelnost je tím větší, čím je půda lehčí. [1]

Tabulka 1: Erodovatelnost a hranice erodovatelnosti podle druhu půdy. [1]

Půdní druh	Hranice erodovatelnosti (mm)	Erodovatelnost (%)
Váté písky	1,12	90–95
Lehké půdy	0,82	60–70
Středně těžké půdy	1,51	45–55
Těžké půdy	2,00	35–45

Meteorologický faktor

Větrná eroze v Bílých Karpatech, nacházejících se na Moravě, je způsobena teplými a zároveň suchými větry přicházejícími z Maďarské nížiny. Tyto větry se nejdříve při překonávání pohoří Bílých Karpat, ochlazují a ztrácí svoji vlhkost a po překonání pohoří se oteplují vlivem stlačování při sestupování do údolí. V údolí tak působí na povrch půdy suchý a zároveň teplý vítr, který je nazýván fén, viz obrázek č. 7. Tyto větry většinou dojdou k zemskému povrchu ve větší vzdálenosti od překonané horské překážky. Může se ovšem stát, že těsně za pohořím vznikne tlaková níže, která způsobí přilnutí proudu větru k závětrné straně pohoří, a tak do údolí přivane prudký nárazový vítr. Nepříznivé působení těchto nárazových větrů je zesilováno horskými sedly, kvůli nimž dochází k zrychlení jejich proudů. Vznikají tak význačné proudnice například proudnice Velické horské brány, Petrova, Strážnice nebo Kněždubu. [1]



Obrázek 7: Vznik fénu (halného větru). [1]

Směry větrů v Bílých Karpatech byly nejčastěji zaznamenány z jihu až jihovýchodu, přičemž v období zimy a předjaří se vyznačovaly velkou intenzitou. Větry

vanoucí ze severu až severozápadu se sice vyskytovaly velmi často, ale na erozi se neuplatňují. Již při nárazovitosti větru $3,4\text{--}5,2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dochází k pohybu suchých půdních částic. Při nárazovitosti větru $17\text{--}28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, která je v podhůří Bílých Karpat častá, jsou zvedány částice s velikostí $1,1\text{--}2,0\text{ mm}$. [1]

Způsob hospodaření na půdě

Člověk výrazně nepříznivě ovlivňuje erozní procesy. [1]

Kvůli dřívějšímu vykácení zalesnění na horských sedlech, v údolích a mnohých návrších, vítr nemá přirozenou překážku a vznikají tak i již dříve zmíněné význačné proudnice větru. Tyto proudnice výrazně přispívají k tvorbě větrné eroze na těžkých půdách v Moravské oblasti Bílých Karpat. Nepříznivě také ovlivňuje větrnou erozi i vykácení zalesnění na mezích a březích toků. [1]

Další z příčin zhoršení působení větrné eroze je dřívější rušení mnoha rybníků například v povodí Kyjovky, Trkmanky, Blaty, zaniklé Čejčské jezero atd. [1]

Vytvořením honů o velkých rozměrech, vzniklých při velkoplošném hospodářství, krajina přišla o pestré střídání kultur a o značné plochy luk, které byly při tvorbě orné půdy zaorány. Jedná se zejména o louky Nivnické, Strážnické, Pomoravní na Veselsku a další. Tyto hony jsou často bez protierozních opatření vůči větrné erozi. [1]

Také skladba plodin a osevní postupy nejsou vhodně volené vzhledem k ochraně proti větrné erozi. Plodiny a osévání pozemků se volí podle toho, co je ekonomicky výhodné. Navíc dochází často k nedodržení včasného osetí (zejména u ozimů) a plodiny tak nejsou dostatečně zakořeněné a vzrostlé a nedokážou ochránit půdu vůči působení větru. Mnohdy se při orientaci řádků plodin nehledí na převládající směr větru. U mechanického zpracování půdy se dostatečně nebere v potaz struktura půdy. Zejména u smykávání a vláčení, kdy půda získává prašnou strukturu, se půda stává náchylnou na odnos větrem a mohou tak vznikat prašné bouře, viz obrázek č. 8. Půda nabývá prašné struktury i po holomrazech nebo při dlouhotrvajícím suchu v létě, zejména při souběžném výskytu zemědělského a meteorologického sucha. [1]



Obrázek 8: Prašná bouře na těžkých půdách u Veselí nad Moravou. [10]

4.3.2 Oblasti výskytu větrné eroze na těžkých půdách

Větrná eroze v České republice především ohrožuje oblast v trojúhelníku mezi Strážnicemi, Bojkovicemi a Uherským Hradištěm. Tato oblast se nachází v jihovýchodní Moravě. Švehlík, podle svých výzkumů, vytvořil mapu ohroženosti oblastí větrnou erozí na jihovýchodní Moravě, viz obrázek č. 9. [1]



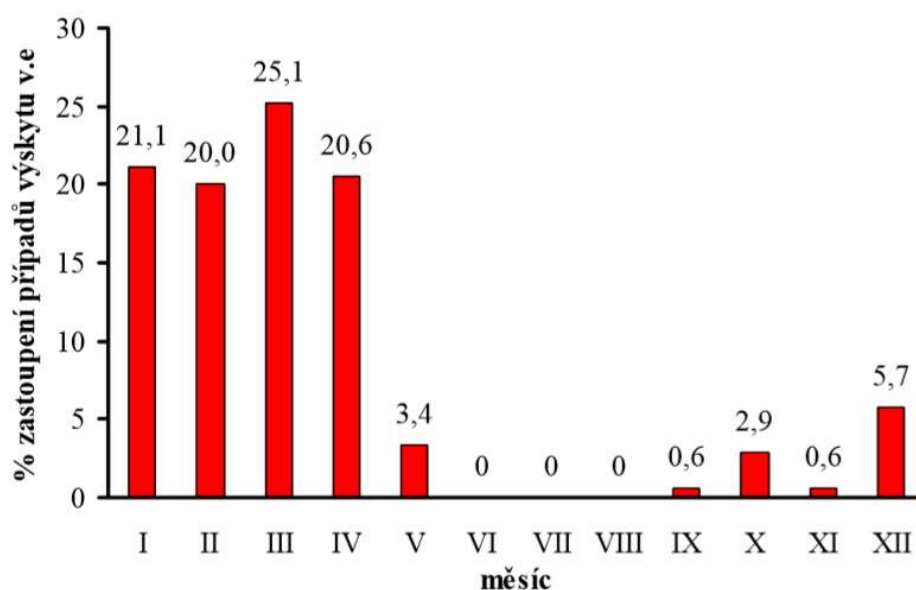
31

4.3.3 Časový výskyt větrné eroze na těžkých půdách

I když půdní částice mohou být odnášeny větrem během celého roku, tak proces větrné eroze, v oblasti pod Bílými Karpaty, se odehrává zejména v období zimy a na začátku jara, viz graf č. 2. V tomto období není půdní povrch dostatečně chráněn vegetačním krytem, a tak je vůči větrné erozi náchylnější. [1]

Z údajů získaných během sledovaného období v letech 1957–2006 bylo zjištěno, že větrná eroze průměrně začíná 7. února a průměrně končí 24. března. Délka erozně deflačního období přibližně trvá 46 dnů. [1]

Během tohoto sledovaného období byl také zkoumán počet dnů s výskytem větrné eroze. Větrná eroze se vyskytovala nejvíce dnů z celkového počtu dnů s jejím výskytem během let 1960 (16,5 %), 1962 (11,5 %) a v roce 1964 (14,0 %). Jen jeden den s výskytem větrné eroze byl zaznamenán v letech 1977, 1979 a 1994. V letech 1958, 1993, 1997, 2000, 2001, 2005 a 2006 se větrná eroze nevyskytovala vůbec. [1]



Graf 2: Výskyt větrné eroze v průměrném procentuálním zastoupení během jednotlivých měsíců v letech 1957 – 2006 v oblasti pod Bílými Karpaty. [1]

Z průzkumu dále vychází, že větrná eroze půdy probíhá zejména během dne, neboť závisí na rychlosti větru. Rychlost větru v průběhu dne kolísá a svých nejvyšších hodnot dosahuje kolem poledne, v průběhu večera pak slábne, až ustává. Jsou ale i zaznamenány jevy, kdy se vyskytovala vysoká intenzita deflace i v průběhu večera a noci. [1]

4.3.4 Intenzita větrné eroze na těžkých půdách

V roce 1972 byla zaznamenána nejsilnější eroze na jihovýchodní Moravě a to v katastrálním území Bánov. Její průměrná intenzita byla $193 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a v některých místech dosahovala dokonce hodnot přes $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Jednalo se tak o erozi velmi silnou až katastrofální. Intenzita eroze dosahovala vysokých hodnot i v letech 1957, 1960, 1962, 1965, 1968, 1971, 1972, 1976, 1983, 1984, 1987 a v roce 1992. Naopak nejnižších hodnot dosahovala intenzita eroze v letech 1979, 1971 a v roce 1988. [1]

Tabulka 2: Průměrná roční intenzita větrné eroze za sledované období. [1]

Sledované období	Průměrná roční intenzita větrné eroze ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)
1957–1989	37,8
1989–1996	10,4
1997–2006	5,4

Z výsledků pozorování je patrné, že v oblasti jihovýchodní Moravy v blízkosti Bílých Karpat dochází téměř každý rok na erodovaných plochách ke snížení půdního povrchu o 4 až 5 mm vlivem větrné eroze. Není ale výjimkou, že v ohniskách prашných bouří dochází k odvátí půdního povrchu do hloubky 10 až 20 mm. Z výsledků tak vyplývá, že větrná eroze v této oblasti je velkým problémem, a to zejména kvůli tomu, že v průběhu dvou až tří hodin jedné prашné bouře mohou být zničeny výsledky až stoletého půdotvorného procesu. [1]

4.3.5 Fyzikální podstata procesu větrné eroze na těžkých půdách

I když je udáváno, že půdní částice menší než 0,84 mm podléhají nejvíce odnosu větrem, tak při větším procentuálním obsahu částic menších jak 0,01 mm půda získává charakteristické vlastnosti, díky nimž je méně náchylná k větrné erozi. Podstatné je, že čím jsou půdní částice menší, tím větší jsou jejich vzájemné přitažlivé síly a větší je i jejich specifická povrchová plocha. Vyrůstá tak soudržnost a přilnavost. [1]

Těžké půdy obsahují velké množství půdních částic menších než 0,01 mm, viz tabulka č. 3. Vyznačují se vysokou sorpční schopností, kvůli níž dokážou pevně poutat vodu i živiny, a slabým provzdušněním. Mění svůj objem při změně vlhkosti. Za vlhka jsou přilnavé, slévají se a uléhají, avšak za sucha se vyznačují velkou soudržností,

smršťováním a tvrdnutím, vytvářejí tak pukliny a hroudy. Proto rovnice pro výpočet intenzity větrné eroze jsou založeny na předpokladu, že těžké půdy nejsou náchylné k větrné erozi. [1]

Tabulka 3: Rozdělení půdních druhů podle procenta obsahu částic menší než 0,01 mm. [1]

Skupina půd	Půdní druh	% obsah jílnatých částic
Lehké (L)	písčítá (P)	0–10
	hlinitopísčítá (HP)	10–20
Středně těžké (S)	písčitohlinitá (PH)	20–30
	hlinitá (H)	30–45
Těžké (T)	jílovitohlinitá (JH)	45–60
	jílovitá (JV)	60–75
	jíl (J)	> 75

Struktura suché půdy je indikátorem erodovatelnosti. U některých půdních druhů při vyschnutí půdy vznikne odolný škraloup, který je u většiny těžkých půd silný natolik, že dokáže odolávat i proti působení větru. Avšak v oblasti jihovýchodní Moravy v blízkosti Bílých Karpat nastávají situace, kdy ani škraloup na těžkých půdách nedokáže ochránit půdu před větrnou erozí. Je to zapříčiněno silnými přepadavými větry a také klimatickými podmínkami během chladné části roku. Při tomto období se odolné povrchové vrstvy rozpadají na jemné částice, které pak silný vítr snadno odnáší. [1]

Při větrné erozi na těžkých půdách dochází nejen k transportu jemných půdních částic, ale i k transportu celých půdních agregátů. Kvůli tomu byla hranice erodovatelnosti v oblasti jihovýchodní Moravy posunuta až na hodnotu 2 mm. [1]

5 OCHRANA PROTI VĚTRNÉ EROZI

Cílem protierozních opatření je snížit intenzitu eroze, a tak se ze zrychlené eroze co nejvíce přiblížit k normální erozi. [9]

Jednotlivé protierozní opatření se dělí na:

- organizační opatření,
- agrotechnická opatření,
- technická opatření. [6]

5.1 ORGANIZAČNÍ OPATŘENÍ

Organizační opatření spočívají v navržení vhodného tvaru a velikosti pozemku. Dále ve výběru vhodných plodin pro dané území podle jejich náchylnosti na vítr a jejich delimitace. Pokud je pozemek dostatečně velký, tak je možné pro zmírnění eroze použít pásové střídání plodin. [10]

5.1.1 Výběr pěstovaných plodin a delimitace druhů pozemků

Nejúčinnější opatření proti větrné erozi je trvalé zatravnění. Navrhuje se na půdách silně ohrožených větrnou erozí. Trvalé zatravnění nejen ochraňuje povrch půd, ale i uchovává půdní vlhkost. Na území, které je ohroženo větrnou erozí o něco méně, se při plánování střídání jednotlivých rostlin zahrnují víceleté pícniny a ozimé obiloviny. Ve chmelnicích, sadech i vinicích se proto meziřadí doporučuje zatravňovat. [3]

Zvláště pak je potřeba před větrem chránit rostliny, které jsou v mládí náchylné na vítr. Mezi tyto rostliny patří například: okopaniny, zelenina, kukuřice a slunečnice. [3]

U delimitace druhů pozemků se jedná o dělení v rámci organizace zemědělského půdního fondu na louky, pastviny, ornou půdu, zahrady, sady, vinice a chmelnice. Příslušné odborné pracoviště rozhoduje z hlediska ochrany přírody o možnosti převodu z kategorie luk a pastvin do lesního fondu. Úzké lesní pásy se používají jako větrolamy, které slouží k ochraně proti větrné erozi, viz 5.3 kapitola. [9]

5.1.2 Pásové střídání plodin

Pásové střídání je nejpoužívanější ochrana půdního povrchu před nepříznivým působením větru. Na území, které je ohroženější větrnou erozí, se jedná o střídání trvale zatravněných pásů s pásy orné půdy. Na území s menším ohrožením se navrhuje pásy plodiny odolnější proti větru s méně odolnými (okopaniny, kukuřice). [3, 9]

Šířka pásu se odvíjí od délky svahu, od sklonu a od vlastností půdy na daném území. Délka svahu tak určuje celkový počet navržených pásů. Často je potřeba tuto délku svahu přerušit průlehy nebo příkopy. Většinou se šířka pásů navrhuje od 40 m až 50 m do 100 až 200 m. [3, 9]



Obrázek 10: Pásové střídání plodin. [10]

5.1.3 Tvar a velikost pozemku

Na území ohroženém větrnou erozí se pomocí pozemkových úprav navrhuje nové půdní celky tak, aby delší stranou byly natočeny kolmo na převládající směr větru. U navržení šířky nového půdního celku je potřeba zajistit dostatečnou šířku pro pásové střídání plodin, kdy se musí počítat s dostatečným počtem a šířkou pásů. Rozměry nových půdních celků se také odvíjí od ostatních použitých opatření proti větrné erozi. Pozemkové úpravy dodržují požadavky na tvorbu a ochranu krajiny i nároky vlastníků. [3]

5.2 AGROTECHNICKÁ OPATŘENÍ

Agrotechnická opatření spočívají v úpravě struktury půdy, v zlepšení vlhkostního režimu lehkých půd a v ochranném obdělávání půdy. [3]

5.2.1 Úprava struktury půdy

Podstatou úpravy struktury půdy je pomocí zvětšení obsahu organické hmoty v půdě vytvořit seskupení půdních částí větší než 0,8 mm, které lépe odolávají větrné erozi. [3]

Zvětšení obsahu organické hmoty v půdě se dá zařídit pomocí:

- pěstování jetelovin a trav,
- zeleného hnojení,
- zanecháním posklizňových zbytků,
- pravidelného hnojení organickými hnojivy. [3]

Další způsobem, pro zlepšení fyzikálně chemických vlastností u lehkých a nestrukturních půd, je přidání například: slínu, bentonitu a rybníčního bahna. Také lze průměr půdních agregátů dočasně zvětšit pomocí postřiku tmelícími prostředky. Tyto způsoby protierozní ochrany jsou ale příliš finančně nákladné. [10]

5.2.2 Zlepšení vlhkostního režimu lehkých půd

Půdní eroze se dá zmírnit pomocí zvýšení vlhkosti v půdě. Vlivem vlhkosti dochází ke zvýšení soudržnosti povrchu půdy. Ke zvýšení vlhkosti se používá: zavlažování, vyloučení plošného kypření povrchu půdy, regulační drenáž a mulčování. [3]

5.2.3 Ochranné obdělávání půdy

Ochranné obdělávání půdy spočívá v množství technologických postupů, při kterých je snaha půdní povrch, u území ohroženého větrnou erozí, nenechávat bez krytí. Toho se docílí buď pomocí uchování aspoň 30 % rostlinných zbytků, nebo pomocí vegetačního krytu (meziplodin). Jde zde také o snahu snižovat počet pracovních postupů.

Výsadba meziplodin probíhá do mělce zpracované půdy nebo do strniště. V zimě meziplodiny uhynou mrazem a na jaře je tak půda pokryta mulčem. Obdělávaná půda se neoře ale pouze kypří kypřiči. [3, 9]

Díky ochranného obdělávání půdy dochází ke zvětšení infiltrace a vlhkosti půdy a ke zmenšení počtu potřebných pojezdů. [9]

Nevýhody ochranného obdělávání půdy spočívají v možnosti přemnožení škůdců, větší pravděpodobnosti zaplevelení a šíření chorob plodin. Předplodiny a podplodiny ochuzují půdu o živiny i vláhu. [9]

5.3 TECHNICKÁ OPATŘENÍ

Intenzita větrné eroze se dá zmírnit pomocí bariéry, kterou postavíme větru do cesty a tak snížíme rychlost větru a zmenšíme počet unesených půdních částic větrem. Používají se buď umělé zábrany, nebo větrolamy. [3]

Umělé zábrany se používají na dočasnou ochranu plodin (půdy) před větrnou erozí. Tvoří se z přenosných plotů, které se staví z prken, hliníkových fólií, apod. Používá se síťové uspořádání zábran, které nejlépe snižuje rychlost větru. [3]

Větrolamy jsou tvořené z různých druhů dřevin. Jedná se o úzké stromořadí tvořené z několika řad stromů, které je popřípadě doplněno keři. Používají se pro dlouhodobou ochranu před větrnou erozí. Větrolamy, kromě ochrany proti větrné erozi, mají taky další funkce. Slouží jako útočiště pro zvířata a mají funkci estetickou a krajinnotvornou. [3]

Při navrhování větrolamů je důležitá jejich poloha, celkový půdorysný tvar a jejich vzájemná vzdálenost. Při rovinném terénu se jejich celkový půdorysný tvar navrhuje obdélníkový s delší stranou natočenou kolmo na převládající směr větru. Tyto delší strany jsou tvořeny hlavními větrolamy. Při rozmanitém terénu dochází ke změnám směru větru, a proto je potřeba vytvořit z hlavních větrolamů uzavřený obrazec. Větrolamy se pokud možno navrhují na vyvýšená místa, díky čemuž se zlepší jejich účinnost. [3]

Vzájemná vzdálenost hlavních větrolamů na výsušných půdách by měla být 300 až 400 m, na hlinitých půdách 500 až 600 m a na těžkých půdách až 850 m. Vzájemná vzdálenost vedlejších větrolamů může být až 1000 m. [3]

5.3.1 Dělení větrolamů

Prodouvavý větrolam

Větrolam tvořený z jedné až dvou řad stromů. Tento větrolam není příliš účinný. Není zde keřové patro, a tak může dojít k navýšení rychlosti větru mezi kmeny stromů. [3]

Poloprodouvavý větrolam

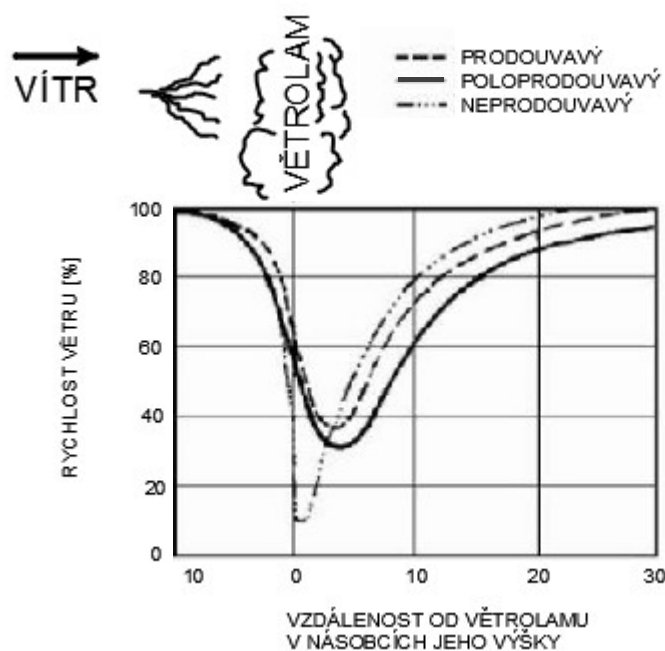
Větrolam složený z jedné nebo dvou řad stromů a z keřového patra. Vítr proudí nejen přes větrolam, ale také skrz něj, kde je zpomalován keřovým patrem. Za větrolamem se vítr opět spojí, ale výslednice těchto proudů dorazí k půdnímu povrchu dále od větrolamu. Tento větrolam tak chrání půdu proti větrné erozi na větší vzdálenost než neprodouvavý větrolam. [3]

Neprodouvavý větrolam

Větrolam tvořený z více řad stromů a z keřového patra na návětrné i závětrné straně. Vítr tak proudí jen přes větrolam. Oproti poloprodouvavému větrolamu, se rychlost větru výrazně sníží, ale jen na malou vzdálenost. Když se vítr snaží překonat neprodouvavý větrolam, může dojít k vytvoření nepříznivých turbulencí před a za větrolamem. [3, 9]



Obrázek 11: Zleva doprava větrolam prodouvavý, poloprodouvavý a neprodouvavý. [10]



Obrázek 12: Schéma působení různých druhů větrolamů na rychlost větru. [10]

5.3.2 Dřeviny používané ve větrolamech

Při volbě dřeviny je potřeba zohlednit, zda se daná dřevina hodí do biomu na řešeném území a zda má dřevina vhodné vlastnosti pro použití ve větrolamech. [3]

O dřeviny rostoucí ve větrolamech je třeba pečovat. V prvních letech jde o ochranu před živočichy a buření. Nesmí se zapomínat na pravidelné výchovné závlahy po výsadbě dřevin. Je třeba zabránit přílišnému dopadání slunečního světla na půdu ve větrolamech, aby nedošlo k rozmnožení nežádoucích plevelů, pomocí zápoje a zastínění. Uhynulé a usychající dřeviny je potřeba z větrolamů odstranit. Při špatné péči o dřeviny dochází ke zhoršení účinnosti větrolamů proti větrné erozi. [3]

Základní dřeviny

Základní dřeviny jsou tvořeny stromy, které jsou odolné proti poryvům větrů. Tvoří oporu porostu ve větrolamech. Charakterizují se dlouhou životností a dobrou kořenovou soustavou, díky níž strom pevně zakořeňuje. Základní dřeviny v mládí pomalu rostou, a tak chvíli trvá, než jsou schopny zastávat svou funkci ve větrolamech. Proto se

do větrolamů vysazují také dočasné dřeviny. Na základní dřeviny se hodí například: dub, lípa, jasan a buk. [3]

Dočasné dřeviny

Dočasné dřeviny se charakterizují rychlým růstem, díky čemuž je větrolam schopen dříve chránit půdu před větrnou erozí. Nejsou ale tak odolné proti poryvům větrů a nedožívají se takového věku jako základní dřeviny. Dočasné dřeviny je nutné včas odstranit, aby nepříznivě neovlivnili růst základních dřevin. Hodí se například: topol, bříza, jilm, jeřáb a olše. [3, 9]

Vedlejší dřeviny

Vedlejší dřeviny doplňují základní dřeviny ve větrolamech. Jejich funkcí je optimalizovat propustnost rostlin pod korunami základních dřevin vůči větru a dodávání živin rostlinám ve větrolamech opadem listí. Hodí se například: jabloň, třešeň, hrušeň a akát. [3]

Keře

Keře ve větrolamech mají více funkcí. Nejen že zpomalují vítr, proudící skrz větrolam, ale také zadržují unášené půdní částice větrem, slouží jako úkryt zvířat, přispívají k zvyšování živin v půdě, snižují odpar vody z půdy ve větrolamech, brání rozšiřování plevelu mezi jednotlivými pozemky a zabráňují přílišnému rozmnožení plevelu ve větrolamech. Hodí se například: líska, ptačí zob, hloh, růže a šeřík. [3, 9]

6 PRAKTICKÁ ČÁST

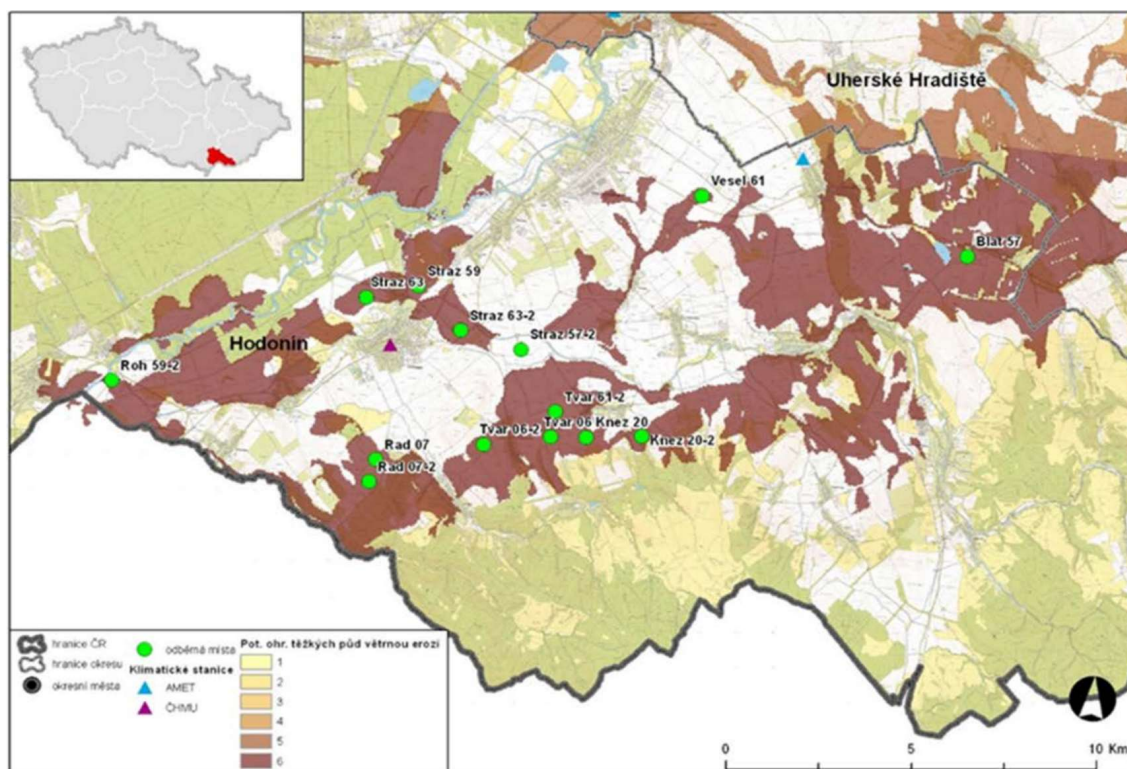
V praktické části byl v laboratorních podmínkách zkoumán vliv nízkých teplot na rozpad agregátů těžkých půd (NEF_Σ a NEF_2) z vybraných experimentálních ploch. Pro simulaci procesu zmrznutí a rozmrznutí při daných teplotách (značený FT) a vysušení půdy mrazem (značený FD) se použila klimatizační komora FEUTRON. Pro agregátovou analýzu z jarních a podzimních odběrů vzorků půdy se použil síťový rozbor za sucha pomocí vibrační třepačky FRITSCH ANALYSETTE 3 PRO.

6.1 POUŽITÉ PŮDNÍ VZORKY

6.1.1 Odběr půdních vzorků

Odběry půdních vzorků provedl VÚMOP Brno (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.) v podzimním období roku 2018 a v jarním a podzimním období roku 2019. Vzorky byly odebrány na jihovýchodní Moravě v oblasti Blatničky (dále značené Blat 57), Kněždubu (dále značené Knez 20), Radějova (dále značené Rad 07), Strážnice (dále značené Straz 63-2) a Tvarožné Lhoty (dále značené Tvar 06-2), viz obrázek č. 13.

Označení odebraných vzorků vychází z katastrálního území odběru a z čísla hlavní půdní jednotky, číslo za pomlčkou upřesňuje místo odběru.



Obrázek 13: Mapa odběru půdních vzorků těžkých půd v kategorii ohroženosti 6. [8]

6.1.2 Rozbor půdních vzorků

Zrnitostní rozbor výše zmíněných půdních vzorků provedl VÚMOP Praha. Procentuální obsah částic menších než 0,01 mm se u vzorků Blat 57, Rad 07, Straz 63-2 a Tvar 06-2 pohybuje od 49,1 % až po 56,9 %, jedná se tedy podle zrnitostní klasifikace podle Nováka, viz tabulka č. 3, o půdní druhy jílovitohlinité a u vzorku Knez 20, který má procentuální obsah těchto částic 63,3 %, o půdní druh jílovitý. Všechny odebrané vzorky se řadí do těžkých půd.

Hlavní půdní jednotky vzorků jsou černozemě (HPJ 06, 07), hnědé půdy (HPJ 20), nivní a glejové půdy (HPJ 57 a 63), v potenciální ohroženosti těžkých půd větrnou erozí patří do kategorie ohroženosti 6. [8]

6.2 ÚPRAVA PŮDNÍCH VZORKŮ

Před provedením agregátové analýzy a simulace procesu FT a FD bylo potřeba půdní vzorky upravit. Vzorky se nejdříve nechaly na vzduchu při pokojové teplotě volně vysušit, při čemž byl vzorek rozprostřen a umístěn na místo s dobrou cirkulací vzduchu.

Po té se z půdního vzorku odstranily kamínky, různé kořínky rostlin, kůra a další viditelné znečištění, které by nepříznivě ovlivnilo výsledky. Ani po úpravě se však nelze vyvarovat těmto znečištěním, protože například kamínky mohou být obaleny hlínou, a tak při úpravách nejsou odstraněny.

Velké hroudy se ve třecí misce pomocí dřevěného tloučku rozmělnily.

Při následném vážení půdních vzorků pro experimentální výzkum bylo dodatečně odstraněno zbylé znečištění, které pro velké množství půdy bylo přehlédnuto.



Obrázek 14: Upravený půdní vzorek.

6.3 AGREGÁTOVÁ ANALÝZA

Agregátová analýza byla provedena na vzorcích suchým způsobem pomocí sady sít a vibrační třepačky FRITSCH ANALYSETTE 3 PRO. Tento způsob je vhodnější nežli mokrý způsob, protože méně rozrušuje půdní agregáty.

Použitá sada sít se skládá ze síta s velikostí ok 0,8 mm a druhého síta s velikostí ok 2,0 mm. Síto s velikostí ok 0,8 mm je použito kvůli tomu, že se obecně částice větší než 0,8 mm pokládají za nenáchylné vůči odnosu větrem, a síto s velikostí ok 2,0 mm je voleno kvůli hranici erodovatelnosti těžkých půd v oblasti jihovýchodní Moravy, která je právě 2,0 mm, viz kapitola 4.3.1. Pomocí agregátové analýzy se určilo množství $NEF_{0,8}$, NEF_2 a NEF_{Σ} .

Kromě sady sít a vibrační třepačky byla potřeba při agregátové analýze porcelánová miska a váha, pro odměření půdních vzorků a pro následné zvážení zůstatků půdních vzorků na jednotlivých sítích.

Pro každý vzorek půdy byla agregátová analýza provedena třikrát. Výsledné hodnoty jsou tak průměrem výsledků ze tří měření.

6.3.1 Postup při agregátové analýze

1. Upravil se půdní vzorek, viz kapitola 6.2.
2. Odměřil se průměrný půdní vzorek o hmotnosti 150 g.
3. Připravený vzorek se vysypal na horní síto (síto s velikostí ok 2,0 mm), umístěného společně se sítem s velikostí ok 0,8 mm ve vibrační třepačce.
4. Na vibrační třepačce se nastavila doba třepání 5 minut s amplitudou 0,1 mm, viz obrázek č. 15.
5. Po protřepání se zvážily zůstatky z jednotlivých sít.
6. Stanovil se obsah $NEF_{0,8}$, NEF_2 a dopočítal se NEF_{Σ} (součet $NEF_{0,8}$ a NEF_2).



Obrázek 15: Vibrační třepačka FRITSCH ANALYSETTE 3 PRO.

6.3.2 Výsledky agregátové analýzy

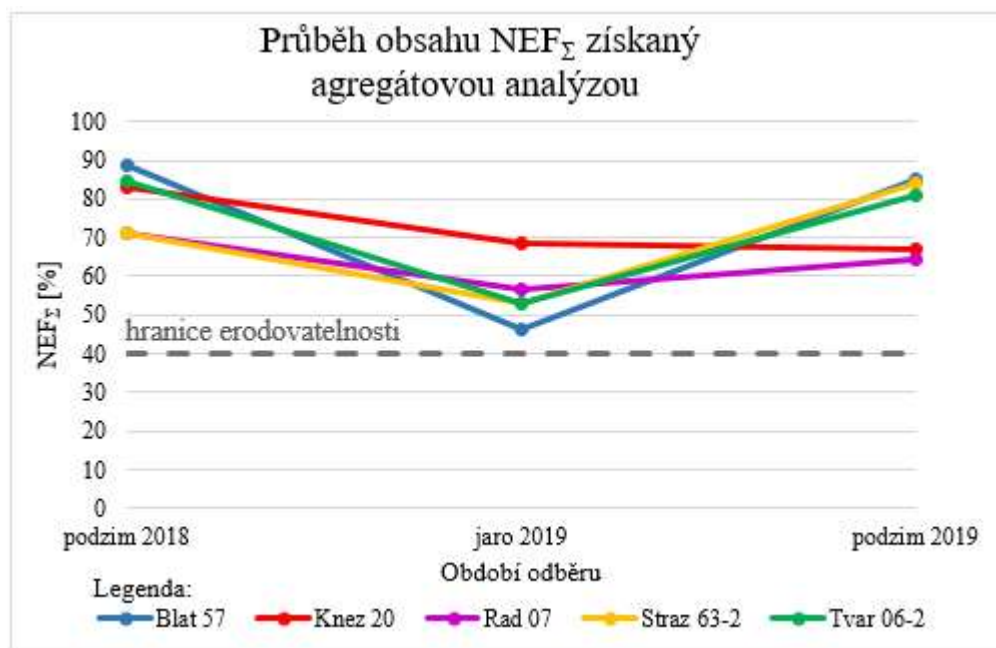
V tabulce č. 4, jsou uvedeny výsledné hodnoty NEF_2 , $NEF_{0,8}$ a NEF_{Σ} z agregátové analýzy. Hodnoty z jednotlivých měření včetně množství erodovatelné frakce (dále značené „EF“ – jedná se o procentuální obsah částic menší než 0,8 mm) jsou uvedeny v Příloze č. 1.

U zkoumaných půdních vzorků odebraných na podzim v roce 2018 se pohybovaly hodnoty obsahu NEF_2 v rozmezí od 42,17 % do 61,09 % a hodnoty obsahu NEF_{Σ} v rozmezí od 71,12 % do 88,86 %. Pro půdní vzorky odebrané na jaře v roce 2019 vyšly hodnoty obsahu NEF_2 v rozmezí od 3,07 % do 16,10 % a hodnoty obsahu NEF_{Σ} v rozmezí od 46,30 % do 68,39 %. U půdních vzorků odebraných na podzim v roce 2019 se hodnoty obsahu NEF_2 v rozmezí od 34,33 % do 61,70 % a hodnoty obsahu NEF_{Σ} v rozmezí od 64,34 % do 84,90 %.

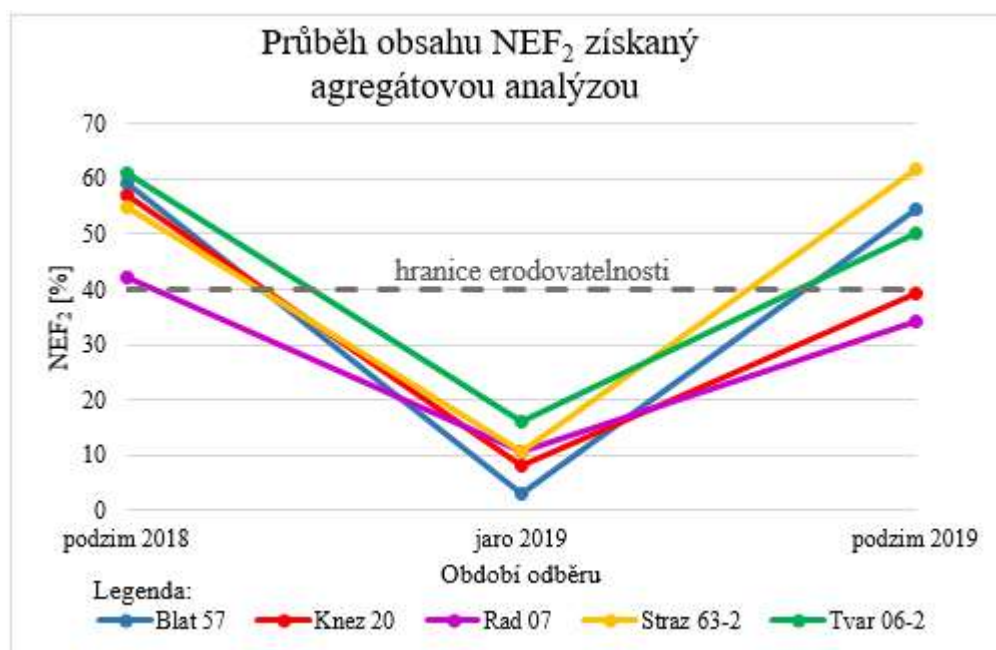
Tabulka 4: Obsah NEF₂, NEF_{0,8} a NEF_Σ zkoumaných půdních vzorků odebraných na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.

půdní vzorek	období	NEF ₂	NEF _{0,8}	NEF _Σ
		[%]	[%]	[%]
Blat 57	podzim 2018	59,06	29,80	88,86
	jaro 2019	3,07	43,23	46,30
	podzim 2019	54,44	30,46	84,90
Knez 20	podzim 2018	56,92	26,06	82,99
	jaro 2019	8,00	60,39	68,39
	podzim 2019	39,35	27,38	66,73
Rad 07	podzim 2018	42,17	28,95	71,12
	jaro 2019	10,73	46,01	56,74
	podzim 2019	34,33	30,01	64,34
Straz 63-2	podzim 2018	54,77	16,35	71,12
	jaro 2019	10,50	42,52	53,02
	podzim 2019	61,70	22,19	83,90
Tvar 06-2	podzim 2018	61,09	23,57	84,66
	jaro 2019	16,10	36,76	52,86
	podzim 2019	50,32	30,43	80,75

Půda se považuje za náchylnou k větrné erozi, pokud obsahuje NEF méně než 40 %. Pokud jako hranici erodovatelnosti použijeme hodnotu 0,8 mm, pak zkoumané půdy nejsou náchylné k větrné erozi, neboť minimální hodnota NEF_Σ je 46,30 %, a tak nebyla překročena tato hranice. Protože se ale lokality odběrů nacházejí v oblasti jihovýchodní Moravy a jedná se o těžké půdy, je potřeba dané vzorky zhodnotit i z hlediska hranice erodovatelnosti 2,0 mm, tj. obsah NEF₂. Hranici erodovatelnosti 2,0 mm překročily vzorky označené Knez 20 s obsahem NEF₂ 39,35 % a Rad 07 s obsahem NEF₂ 34,33 %, které byly odebrány na podzim roku 2019, a všechny vzorky odebrané na jaře v roce 2019, jejich obsah NEF₂ se pohyboval v rozmezí od 3,07 % do 16,10 %. Grafické znázornění změny obsahu NEF_Σ je znázorněno v grafu č. 3 a změny NEF₂ v grafu č. 4.



Graf 3: Změna obsahu NEF_{Σ} ve zkoumaných oblastech v průběhu sledovaného období podzimu roku 2018 a jara a podzimu roku 2019.



Graf 4: Změna obsahu NEF_2 ve zkoumaných oblastech v průběhu sledovaného období podzimu roku 2018 a jara a podzimu roku 2019.

Obsah NEF_2 i NEF_{Σ} u vzorků půd Blat 57, Knez 20, Rad 07 a Tvar 06-2 odebrané na podzim roku 2019 se oproti vzorkům odebraných na podzim roku 2018 snížil, ale u vzorku Straz 63-2 došlo naopak ke zvýšení obsahu NEF_2 i NEF_{Σ} . Obsah se procentuálně snížil u půd s označením Blat 57 u NEF_2 o 7,81 % a u NEF_{Σ} o 4,45 %, s označením Knez 20 u NEF_2 o 30,87 % a u NEF_{Σ} o 19,59 %, s označením Rad 07 u NEF_2 o 18,60 % a u NEF_{Σ} o 9,54 % a s označením Tvar 06-2 u NEF_2 o 17,63 % a u NEF_{Σ} o 4,62 %, tyto půdy se tak kvůli úbytku NEF staly náchylnější k větrné erozi oproti předešlému roku. Méně náchylná oproti minulému roku se jeví půda s označením Straz 63-2 u které se procentuálně zvýšil obsah NEF_2 o 12,66 % a u NEF_{Σ} o 17,97 %.

Kvůli výskytu pandemie COVID-19 v České republice, nebylo možné provést agregátovou analýzu pro vzorky půd odebraných na jaře roku 2020.

6.4 PROCES ZMRZNUTÍ A ROZMRZNUTÍ (FT)

Pro simulaci procesu zmrznutí a rozmrznutí (značený FT) byla použita klimatická komora FEUTRON, viz obrázky č. 16 a č. 17, kde se nejprve vzorek na 12 hodin vystavil teplotě $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro stav zmrznutí a po té na 12 hodin teplotě $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro stav rozmrznutí. Jeden cyklus procesu FT tak trval 24 hodin. V pěti cyklech procesu FT byl zkoumán rozpad půdních agregátů, při čemž se půdní agregáty přestávají rozpadat, pokud je procentuální změna z obsahu NEF menší než 1 %. Hodnoty teplot byly voleny podle metody simulace přemrznání půdních agregátů podle Kozlovsky Dufkové, viz kapitola 4.2.3.

Pro proces FT se připravilo 20 vzorků NEF_{Σ} pro každý vzorek půdy, celkem se tak pro tento proces připravilo 100 vzorků NEF_{Σ} . Každý z připravených vzorků NEF_{Σ} byl o hmotnosti 70 g, aby po vložení do Kopeckého válečku měl přibližně výšku 3 cm, a tak simuloval svrchní vrstvu půdy.

Při grafickém zpracování byly výsledné hodnoty NEF z jednotlivých cyklů proloženy polynomickou spojnici trendu 3. řádu a přepočítány.



Obrázek 16: Klimatická komora FEUTRON. Obrázek 17: Pohled do vnitřních prostor klimatické komory FEUTRON.

Rozpad půdních agregátů je ovlivněn půdní vlhkostí. Proto, než se vzorky NEF_Σ vystavily nízkým teplotám, byly ovlhčeny na vlhkosti, které se reálně vyskytují v přirozených podmínkách:

- plná vodní kapacita Θ_s – maximální množství vody, kterou dokáže půda pojmout; jedná se o úplné zaplnění půdních pórů vodou; ovlhčení se provádělo metodikou podle Nováka, kdy sycení probíhá 24 hodin; takto se ovlhčila půlka, tj. 10 připravených vzorků NEF_Σ od každého vzorku půdy,
- polní vodní kapacita Θ_{PK} – vlhkost půdy, která je na hranici mezi gravitační a kapilární vodou; udává maximální množství vody, jež může půda zadržet pomocí kapilárních pórů po delší dobu; sycení vzorků se provádělo metodikou podle Nováka, tedy sytily se 24 hodin a následně se 30 minut odvodňovaly přes 4 vrstvy filtračního papíru; takto se ovlhčila druhá půlka připravených vzorků.

Všechny připravené a navlhčené vzorky byly během procesu FT vloženy do izolace z polystyrénu, aby byl vzorek izolován ze stran a ze spodu, viz obrázky č. 18 a č. 19. Docílilo se tak k přiblížení podmínek v terénu, kdy mráz na půdní povrch působí jen ze shora. V klimatizační komoře byly vzorky shora odkryté.



Obrázek 18: Polystyrénová izolace.



Obrázek 19: Detail uložení Kopeckého válečku se vzorkem v polystyrénové izolaci.

6.4.1 Postup při procesu FT

1. Upravil se půdní vzorek, viz kapitola 6. 2, a odstranila se EF, aby zůstala jen NEF_{Σ} .
2. Odměřilo se 20 vzorků z NEF_{Σ} o hmotnosti 70 g pro každý půdní vzorek a vložily se do Kopeckého válečků. U každého vzorku se provedla agregátová analýza suchým způsobem.
3. Půlka připravených vzorků, tj. 10 vzorků NEF_{Σ} z každého půdního vzorku, se navlhčila na Θ_S a druhá půlka na Θ_{PK} .
4. Navlhčené vzorky se vložily do polystyrénové izolace a umístily se do klimatické komory, kde byly vystaveny cyklům procesu FT.
5. Po každém cyklu procesu FT, tj. co 24 hodiny, byly z klimatické komory vytáhnuty 2 vzorky NEF_{Σ} s vlhkostí Θ_S a 2 vzorky NEF_{Σ} s vlhkostí Θ_{PK} , výsledné hodnoty pro jednotlivé cykly jsou tak průměrem dvou hodnot.
6. Vzorky se nechaly volně vysušit při pokojové teplotě a následně se u nich provedla agregátová analýza suchý způsobem.

6.4.2 Výsledky procesu FT

Přehledy výsledků procesu FT jsou uvedeny v tabulkách č. 5 a č. 6. Hodnoty z jednotlivých měření pro určení NEF_{Σ} při procesu FT jsou uvedeny v Příloze č. 2. a pro určení NEF_2 v Příloze č. 3. V přílohové části v tabulce č. 34 jsou uvedeny přepočítané hodnoty naměřených hodnot pro NEF_{Σ} a v tabulce č. 37 pro NEF_2 .

Proces FT byl proveden u půdních vzorků s označením Knez 20 a Tvar 06-2 odebraných na podzim roku 2018 a u půdních vzorků s označením Blat 57, Rad 07 a Straz 63-2, které byly odebrány na podzim roku 2019.

Půdní vzorek Knez 20

Půdní agregáty NEF u vzorků Knez 20, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_S (průměr $\Theta_S = 35,78 \%$), se přestaly rozpadat u NEF_{Σ} po 2 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_{Σ} snížil o 4,68 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 82,99 % na 79,10 %. Půdní agregáty NEF_2 o stejném navlhčení se přestaly rozpadat po 2 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_2 snížil o 10,82 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 56,92 % na 50,77 %.

Půdní agregáty NEF u vzorků Knez 20, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_{PK} (průměr $\Theta_{PK} = 27,36 \%$), se ani po 5 cyklech procesu FT nepřestaly rozpadat. Procentuálně se obsah NEF_{Σ} po 5 cyklech snížil o 12,51 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 82,99 % na 72,61 %. U půdních agregátů NEF_2 se procentuálně obsah NEF_2 po 5 cyklech snížil o 26,05 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 56,92 % na 42,09 %.

Půdní vzorek Tvar 06-2

Půdní agregáty NEF u vzorků Tvar 06-2, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_S (průměr $\Theta_S = 33,78 \%$), se přestaly rozpadat u NEF_{Σ} po 2 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_{Σ} snížil o 6,95 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 84,66 % na 78,77 %. Půdní agregáty NEF_2 o stejném navlhčení se ani po 5 cyklech procesu FT nepřestaly rozpadat. Procentuálně se obsah NEF_2 po 5 cyklech snížil o 22,29 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 61,09 % na 47,47 %.

Půdní agregáty NEF u vzorků Tvar 06-2, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_{PK} (průměr $\Theta_{PK} = 27,68 \%$), se přestaly rozpadat u NEF_{Σ} po 2 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_{Σ} snížil o 4,96 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 84,66 % na 80,46 %. Půdní agregáty NEF_2 o stejné vlhkosti se ani po 5 cyklech procesu FT nepřestaly rozpadat. Procentuálně se obsah NEF_2 po 5 cyklech snížil o 17,95 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 61,09 % na 50,12 %.

Půdní vzorek Blat 57

Půdní agregáty NEF u vzorků Blat 57, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_S (průměr $\Theta_S = 33,16 \%$), se přestaly rozpadat u NEF_{Σ} po 4 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_{Σ} snížil o 13,19 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 84,90 % na 73,70 %. Půdní agregáty NEF_2 o stejném navlhčení se ani po 5 cyklech procesu FT nepřestaly rozpadat. Procentuálně se obsah NEF_2 po 5 cyklech snížil o 35,60 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 54,44 % na 35,06 %.

Půdní agregáty NEF u vzorků Blat 57, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_{PK} (průměr $\Theta_{PK} = 25,04 \%$), se přestaly rozpadat u NEF_{Σ} po 2 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_{Σ} snížil o 6,45 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 84,90 % na 79,42 %. Půdní agregáty NEF_2 o stejném navlhčení se ani po 5 cyklech procesu FT nepřestaly rozpadat. Procentuálně se obsah NEF_2 po 5 cyklech snížil o 30,60 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 54,44 % na 37,78 %.

Půdní vzorek Rad 07

Půdní agregáty NEF u vzorků Rad 07, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_S (průměr $\Theta_S = 31,62 \%$), se přestaly rozpadat u NEF_{Σ} po 3 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_{Σ} snížil o 10,84 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 64,34 % na 57,36 %. Půdní agregáty NEF_2 o stejném navlhčení se přestaly rozpadat po 4 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_2 snížil o 33,57 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 34,33 % na 22,80 %.

Půdní agregáty NEF u vzorků Rad 07, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_{PK} (průměr $\Theta_{PK} = 25,18 \%$), se přestaly rozpadat u NEF_{Σ} po 2 cyklech procesu FT, při čemž se

procentuálně obsah NEF_{Σ} snížil o 8,02 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 64,34 % na 59,18 %. Půdní agregáty NEF_2 o stejném navlhčení se přestaly rozpadat po 2 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_2 snížil o 22,64 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 34,33 % na 26,55 %.

Půdní vzorek Straz 63-2

Půdní agregáty NEF u vzorků Straz 63-2, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_s (průměr $\Theta_s = 35,65$ %), se přestaly rozpadat u NEF_{Σ} po 2 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_{Σ} snížil o 10,89 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 83,90 % na 74,76 %. Půdní agregáty NEF_2 o stejném navlhčení se přestaly rozpadat po 3 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_2 snížil o 28,24 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 61,70 % na 44,28 %.

Půdní agregáty NEF u vzorků Straz 63-2, které byly navlhčeny na vlhkost Θ_{PK} (průměr $\Theta_{PK} = 23,94$ %), se přestaly rozpadat u NEF_{Σ} po 2 cyklu procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_{Σ} snížil o 8,52 %. Obsah NEF_{Σ} tak poklesl z 83,90 % na 76,75 %. Půdní agregáty NEF_2 o stejném navlhčení se přestaly rozpadat po 3 cyklech procesu FT, při čemž se procentuálně obsah NEF_2 snížil o 18,42 %. Obsah NEF_2 tak poklesl z 61,70 % na 50,34 %.

Tabulka 5: Přehled výsledných hodnot procesu FT pro půdní vzorky Blat 57 (2019), Knez 20 (2018) a Rad 07 (2019).

půdní vzorky		Θ_s	Θ_{PK}
Blat 57	počáteční NEF_{Σ} [%]	84,90	84,90
	počet potřebných cyklů	4	2
	koncové NEF_{Σ} [%]	73,70	79,42
	procentuální změna počáteční a koncové NEF_{Σ} [%]	-13,19	-6,45
	počáteční NEF_2 [%]	54,44	54,44
	počet potřebných cyklů	>5	>5
	koncové NEF_2 [%]	35,06	37,78
	procentuální změna počáteční a koncové NEF_2 [%]	-35,60	-30,60
Knez 20	počáteční NEF_{Σ} [%]	82,99	82,99
	počet potřebných cyklů	2	>5
	koncové NEF_{Σ} [%]	79,10	72,61
	procentuální změna počáteční a koncové NEF_{Σ} [%]	-4,68	-12,51
	počáteční NEF_2 [%]	56,92	56,92
	počet potřebných cyklů	2	>5
	koncové NEF_2 [%]	50,77	42,09
	procentuální změna počáteční a koncové NEF_2 [%]	-10,82	-26,05
Rad 07	počáteční NEF_{Σ} [%]	64,34	64,34
	počet potřebných cyklů	3	2
	koncové NEF_{Σ} [%]	57,36	59,18
	procentuální změna počáteční a koncové NEF_{Σ} [%]	-10,84	-8,02
	počáteční NEF_2 [%]	34,33	34,33
	počet potřebných cyklů	4	2
	koncové NEF_2 [%]	22,80	26,55
	procentuální změna počáteční a koncové NEF_2 [%]	-33,57	-22,64

**Tabulka 6: Přehled výsledných hodnot procesu FT pro
půdní vzorky Straz 63-2 (2019) a Tvar 06-2 (2018).**

půdní vzorky		Θ_S	Θ_{PK}
Straz 63-2	počáteční NEF _Σ [%]	83,90	83,90
	počet potřebných cyklů	2	2
	koncové NEF _Σ [%]	74,76	76,75
	procentuální změna počáteční a koncové NEF _Σ [%]	-10,89	-8,52
	počáteční NEF ₂ [%]	61,70	61,70
	počet potřebných cyklů	3	3
	koncové NEF ₂ [%]	44,28	50,34
	procentuální změna počáteční a koncové NEF ₂ [%]	-28,24	-18,42
Tvar 06-2	počáteční NEF _Σ [%]	84,66	84,66
	počet potřebných cyklů	2	2
	koncové NEF _Σ [%]	78,77	80,46
	procentuální změna počáteční a koncové NEF _Σ [%]	-6,95	-4,96
	počáteční NEF ₂ [%]	61,09	61,09
	počet potřebných cyklů	>5	>5
	koncové NEF ₂ [%]	47,47	50,12
	procentuální změna počáteční a koncové NEF ₂ [%]	-22,29	-17,95

6.4.3 Posouzení půdních vzorků na náchylnost k větrné erozi při simulaci procesu FT

Při hranici erodovatelnosti 0,8 mm se všechny zkoumané půdní vzorky jeví jako nenáchylné k větrné erozi, neboť při navlhčení na Θ_S je minimální obsah NEF_Σ 56,60 %, viz graf č. 5, a při navlhčení Θ_{PK} je minimální obsah NEF_Σ 58,28 %, viz graf č. 6. Obě tyto hodnoty se týkají půdního vzorku označeného Rad 07, při pátém cyklu procesu FT.

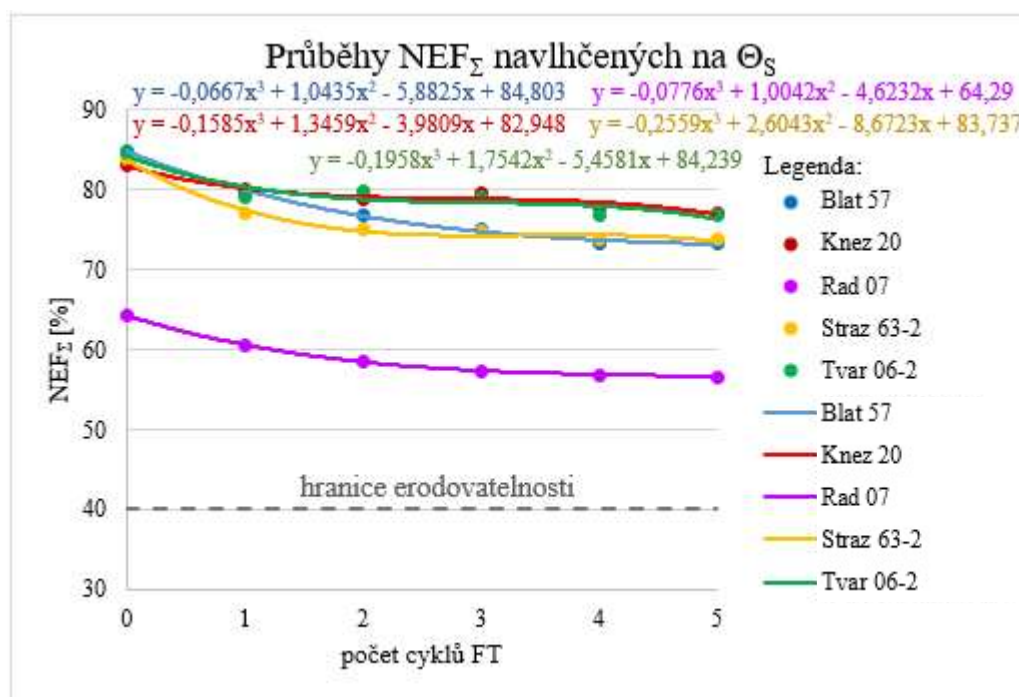
Při hranici erodovatelnosti 2,0 mm jsou zkoumané půdy Blat 57 a Rad 07 náchylné k větrné erozi při obou vlhkostech Θ_S i Θ_{PK} , viz grafy č. 7 a č. 8, při čemž půdní vzorek Rad 07 je náchylný k erozi i bez simulace procesu FT, protože při rozboru agregátovou analýzou je jeho obsah NEF₂ (podzim 2019) pod 40 %, a to 34,33 %.

Vzorek Blat 57 se stává náchylným k erozi při navlhčení Θ_s po 4 cyklech (3,87) a při navlhčení Θ_{PK} po 4 cyklech (3,83) procesu FT.

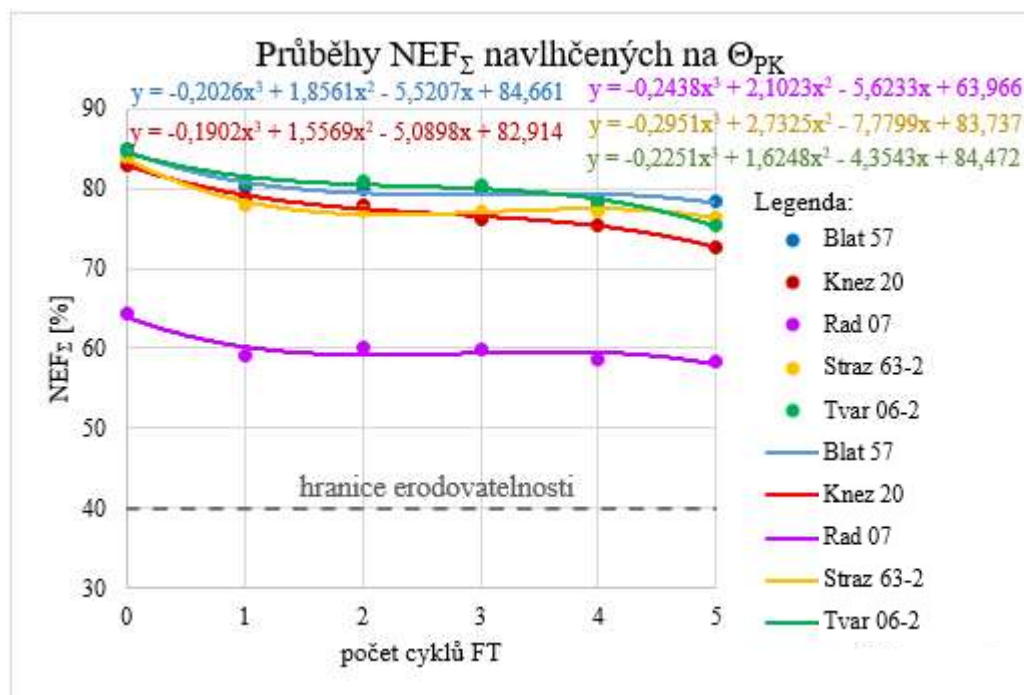
U půdního vzorku Straz 63-2 se přestaly rozpadat půdní agregáty NEF₂ při 3. cyklu procesu FT, při čemž nebyla dosažena hranice erodovatelnosti. Při obou vlhkostních stavech se vzorek jeví jako nenáchylný k větrné erozi. Při vlhkosti Θ_s dosáhl obsahu NEF₂ 44,28 % a při vlhkosti Θ_{PK} 50,34 %.

Půdní vzorek Knez 20 při vlhkosti Θ_s se jeví jako nenáchylný k větrné erozi, protože rozpad NEF₂ se ustálil na 50,77 %, ale při vlhkosti Θ_{PK} je potřeba provést více cyklů.

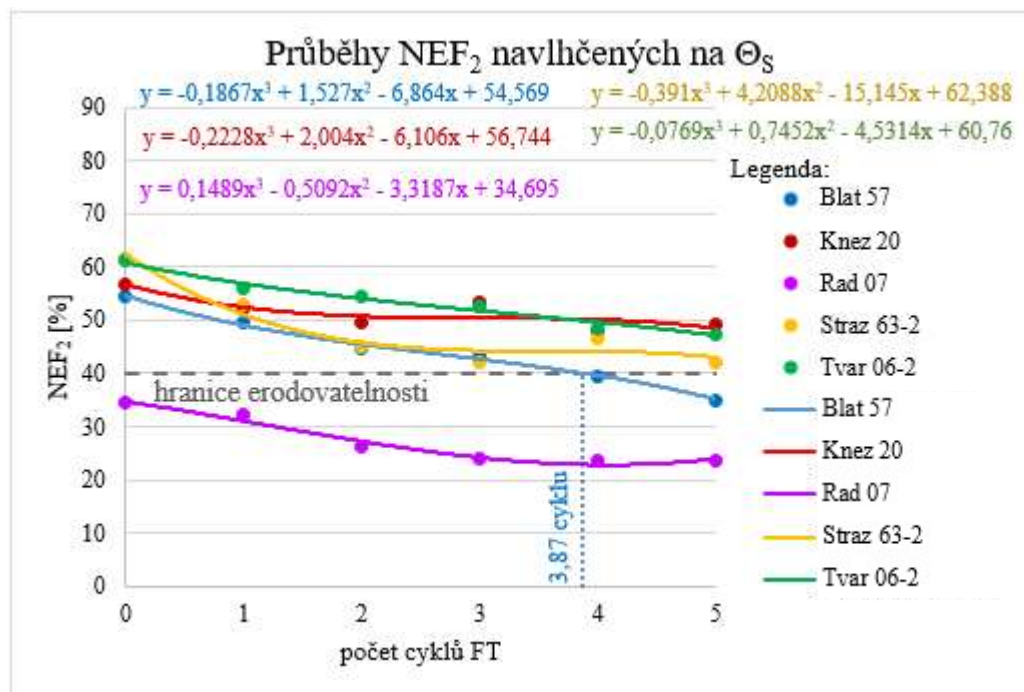
U půdního vzorku Tvar 06-2 nebyla prokázána náchylnost k větrné erozi během pěti cyklů procesu FT, protože při obou vlhkostech Θ_s i Θ_{PK} se nepřestaly rozpadat NEF₂. Pro tento půdní vzorek je pro určení náchylnosti k větrné erozi potřeba provést více než 5 cyklů procesu FT.



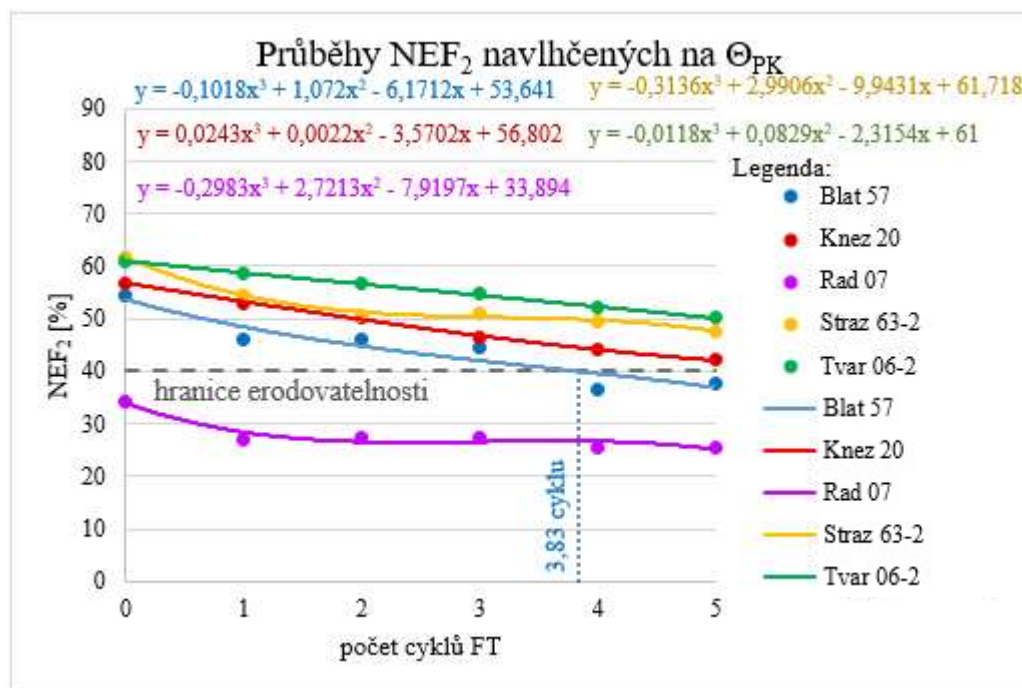
Graf 5: Průběhy obsahů NEF₂ vzorků, které byly navlhčeny na Θ_s , při jednotlivých cyklech procesu FT.



Graf 6: Průběhy obsahů NEF_Σ vzorků, které byly navlhčeny na Θ_{PK}, při jednotlivých cyklech procesu FT.



Graf 7: Průběhy obsahů NEF₂ vzorků, které byly navlhčeny na Θ_S, při jednotlivých cyklech procesu FT.



Graf 8: Průběhy obsahů NEF₂ vzorků, které byly navlhčeny na Θ_{PK} , při jednotlivých cyklech procesu FT.

6.5 PROCES VYSUŠENÍ PŮDY MRAZEM (FD)

Pro simulaci procesu vysušení půdy mrazem (značené FD) byla použita klimatická komora FEUTRON, viz obrázky č. 16 a č. 17, kde se vzorek na jeden den (24 hodin) a jeden měsíc (30 dnů) vystavil teplotě $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Procesu FD byly vystaveny půdní vzorky označené Knez 20 a Tvar 06-2. Z důvodu výskytu pandemie COVID-19 v České republice nebylo možné provést simulaci procesu FD pro vzorky půdy označené Blat 57, Rad 07 a Straz 63-2.

Pro proces FD se připravilo 8 vzorků NEF_Σ pro každý vzorek půdy, celkem tedy 16 vzorků NEF_Σ. Každý z připravených vzorků NEF_Σ byl o hmotnosti 70 g, aby po vložení do Kopeckého válečku měl přibližně výšku 3 cm, a tak simuloval svrchní vrstvu půdy.

Půlka vzorků NEF_Σ, tj. 4 vzorky NEF_Σ pro každý vzorek půdy, byla navlhčena na Θ_S a druhá půlka na Θ_{PK} . Navlhčené vzorky NEF_Σ byly umístěny do klimatizační komory, kde byly umístěny v izolaci z polystyrénu, viz obrázky č. 18 a č. 19, a byly ze shora odkryté.

6.5.1 Postup při procesu FD

1. Upravil se půdních vzorek, viz kapitola 6. 2, a odstranila se EF, aby zůstala jen NEF_{Σ} .
2. Navážka 8 vzorků z NEF_{Σ} o hmotnosti 70 g, nasypání navážených vzorků do Kopeckého válečků. U každého vzorku se provedla agregátová analýza suchým způsobem.
3. Půlka připravených vzorků NEF_{Σ} , tj. 4 vzorky, se navlhčila na Θ_s a druhá půlka na Θ_{PK} .
4. Navlhčené vzorky se vložily do polystyrénové izolace a umístily se do klimatické komory, kde byly vystaveny -2°C procesu FD.
5. Po jednom dni (24 hodin) a jednom měsíci (30 dní) byly z klimatické komory vytáhnuty 2 vzorky NEF_{Σ} s vlhkostí Θ_s a 2 vzorky NEF_{Σ} s vlhkostí Θ_{PK} , výsledné hodnoty jsou tak průměrem dvou hodnot.
6. Vzorky se nechaly volně vysušit při pokojové teplotě a následně se provedla agregátová analýza suchý způsobem.

6.5.2 Výsledky procesu FD

Přehledy výsledků procesu FD se nacházejí v tabulkách č. 7 a č. 8. Hodnoty z jednotlivých měření pro určení NEF_{Σ} a NEF_2 při procesu FD jsou uvedeny v Příloze č. 4.

Půdní vzorek Knez 20

U půdních agregátů NEF vzorků Knez 20, které byly vystaveny procesu FD po dobu jednoho dne, došlo k procentuálnímu snížení NEF_{Σ} při navlhčení Θ_s (průměr $\Theta_s = 31,46\%$) o 4,53 %, tj. z hodnoty 82,99 % na 79,23 %, a při vlhkosti Θ_{PK} (průměr $\Theta_{PK} = 29,34\%$) o 2,06 %, tj. z hodnoty 82,99 % na 81,28 %. Hodnoty NEF_2 při navlhčení Θ_s procentuálně klesly o 25,16 %, tj. z hodnoty 56,92 % na 42,60 %, a při vlhkosti Θ_{PK} o 11,01 %, tj. z hodnoty 56,92 % na 50,66 %.

U půdních agregátů NEF vzorků Knez 20, které byly vystaveny procesu FD po dobu jednoho měsíce, došlo k procentuálnímu snížení NEF_{Σ} při navlhčení Θ_S (průměr $\Theta_S = 37,94 \%$) o 12,50 %, tj. z hodnoty 82,99 % na 72,61 %, a při vlhkosti Θ_{PK} (průměr $\Theta_{PK} = 30,69 \%$) o 11,83 %, tj. z hodnoty 82,99 % na 73,17 %. Hodnoty NEF_2 při navlhčení Θ_S procentuálně klesly o 40,90 %, tj. z hodnoty 56,92 % na 33,64 %, a při vlhkosti Θ_{PK} o 48,11 %, tj. z hodnoty 56,92 % na 29,54 %.

Tabulka 7: Přehled výsledných hodnot procesu FD pro půdní vzorek Knez 20 (2018).

půdní vzorky	den		měsíc	
	Θ_S	Θ_{PK}	Θ_S	Θ_{PK}
počáteční NEF_{Σ} [%]	82,99	82,99	82,99	82,99
koncové NEF_{Σ} [%]	79,23	81,28	72,61	73,17
procentuální změna počáteční a koncové NEF_{Σ} [%]	-4,53	-2,06	-12,50	-11,83
počáteční NEF_2 [%]	56,92	56,92	56,92	56,92
koncové NEF_2 [%]	42,60	50,66	33,64	29,54
procentuální změna počáteční a koncové NEF_2 [%]	-25,16	-11,01	-40,90	-48,11

Půdní vzorek Tvar 06-2

U půdních agregátů NEF vzorků Tvar 06-2, které byly vystaveny procesu FD po dobu jednoho dne, došlo k procentuálnímu snížení NEF_{Σ} při navlhčení Θ_S (průměr $\Theta_S = 37,42 \%$) o 8,89 %, tj. z hodnoty 84,66 % na 77,13 %, a při vlhkosti Θ_{PK} (průměr $\Theta_{PK} = 28,95 \%$) o 7,81 %, tj. z hodnoty 84,66 % na 78,05 %. Hodnoty NEF_2 při navlhčení Θ_S procentuálně klesly o 23,82 %, tj. z hodnoty 61,09 % na 46,54 %, a při vlhkosti Θ_{PK} o 26,39 %, tj. z hodnoty 61,09 % na 44,97 %.

U půdních agregátů NEF vzorků Tvar 06-2, které byly vystaveny procesu FD po dobu jednoho měsíce, došlo k procentuálnímu snížení NEF_{Σ} při navlhčení Θ_S (průměr $\Theta_S = 40,49 \%$) o 19,50 %, tj. z hodnoty 84,66 % na 68,15 %, a při vlhkosti Θ_{PK} (průměr $\Theta_{PK} = 30,72 \%$) o 21,13 %, tj. z hodnoty 84,66 % na 66,77 %. Hodnoty NEF_2 při navlhčení Θ_S procentuálně klesly o 45,65 %, tj. z hodnoty 61,09 % na 33,20 %, a při vlhkosti Θ_{PK} o 48,43 %, tj. z hodnoty 61,09 % na 31,50 %.

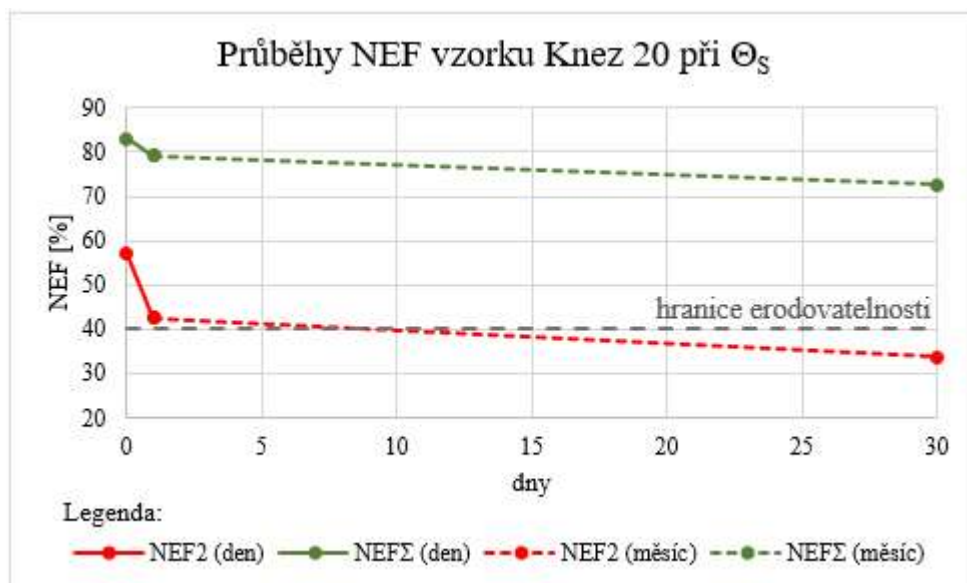
Tabulka 8: Přehled výsledných hodnot procesu FD pro půdní vzorek Tvar 06-2 (2018).

půdní vzorky	den		měsíc	
	Θ_S	Θ_{PK}	Θ_S	Θ_{PK}
počáteční NEF _Σ [%]	84,66	84,66	84,66	84,66
koncové NEF _Σ [%]	77,13	78,05	68,15	66,77
procentuální změna počáteční a koncové NEF _Σ [%]	-8,89	-7,81	-19,50	-21,13
počáteční NEF ₂ [%]	61,09	61,09	61,09	61,09
koncové NEF ₂ [%]	46,54	44,97	33,20	31,50
procentuální změna počáteční a koncové NEF ₂ [%]	-23,82	-26,39	-45,65	-48,43

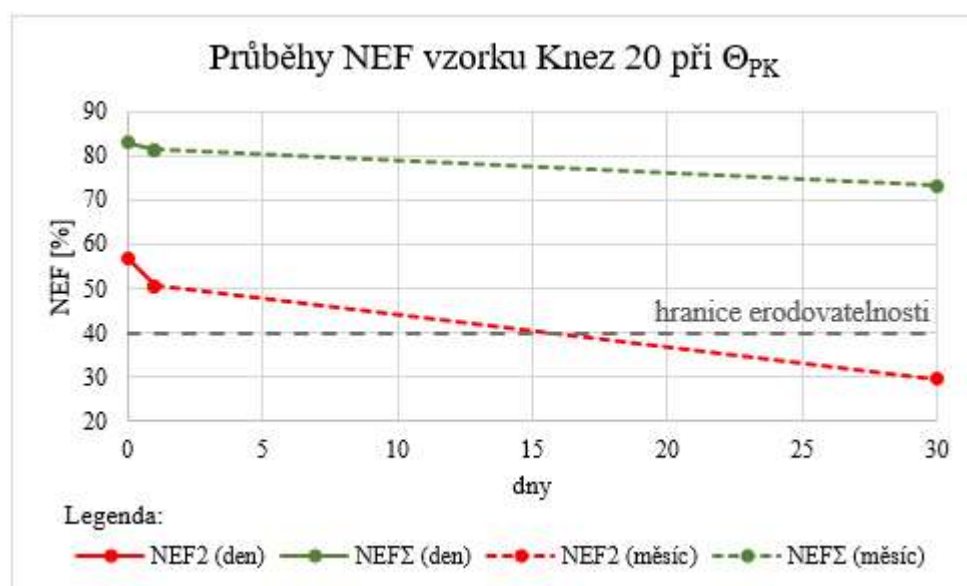
6.5.3 Posouzení půdních vzorků na náchylnost k větrné erozi při simulaci procesu FD

Při hranici erodovatelnosti 0,8 mm se všechny zkoumané půdní vzorky jeví jako nenáchylné k větrné erozi, protože po simulaci procesu FD po dobu jednoho měsíce je minimální hodnota NEF_Σ u půdního vzorku „Knez 20“ 72,61 % (při Θ_S) a u půdního vzorku „Tvar 06-2“ 66,77 % (při Θ_{PK}).

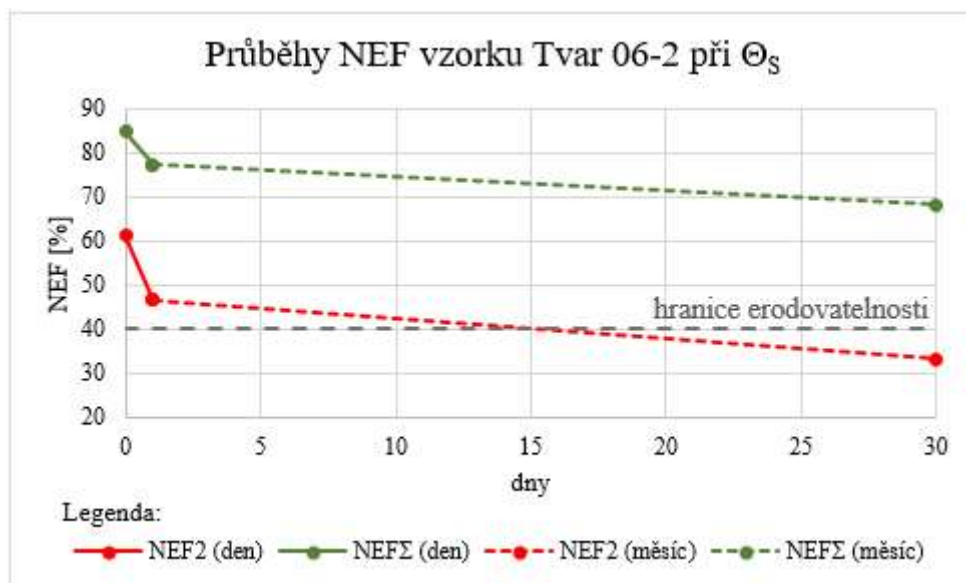
Při vyhodnocení na hranici erodovatelnosti 2,0 mm se oba půdní vzorky jeví jako náchylné k větrné erozi. Po simulaci procesu FD po dobu jednoho měsíce je minimální hodnota NEF₂ u půdního vzorku „Knez 20“ 29,54 % (při Θ_{PK}) a u půdního vzorku „Tvar 06-2“ 31,50 % (při Θ_{PK}).



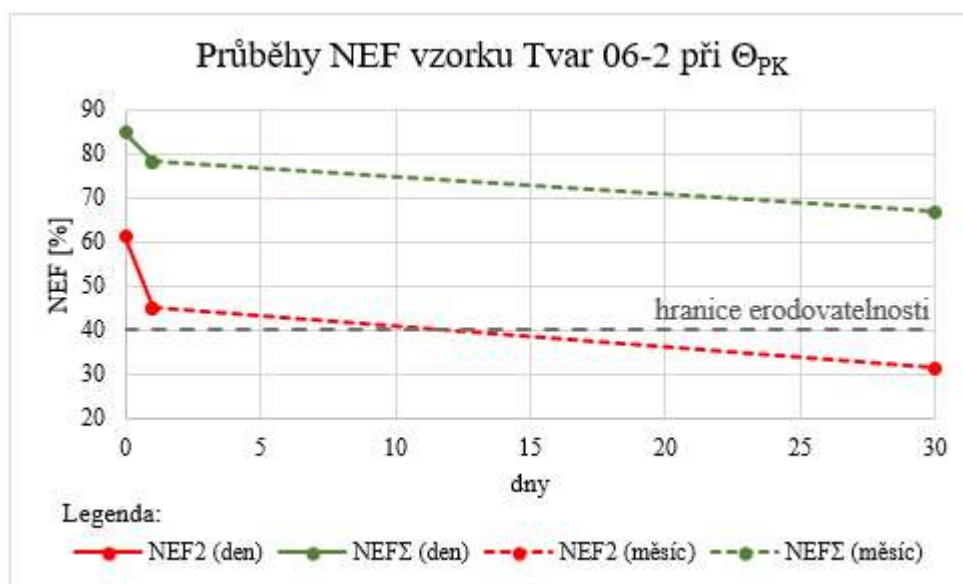
Graf 9: Průběhy obsahů NEF vzorků Knez 20, které byly navlhčeny na Θ_s , při procesu FD.



Graf 10: Průběhy obsahů NEF vzorků Knez 20, které byly navlhčeny na Θ_{PK} , při procesu FD.



Graf 11: Průběhy obsahů NEF vzorků Tvar 06-2, které byly navlhčeny na Θ_s , při procesu FD.



Graf 12: Průběhy obsahů NEF vzorků Tvar 06-2, které byly navlhčeny na Θ_{PK} , při procesu FD.

7 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl zkoumán vliv nízkých teplot na rozpad půdních agregátů těžkých půd z vybraných experimentálních ploch. Pro simulaci rozpadu půdních agregátů v laboratorních podmínkách se použil proces zmrznutí a rozmrznutí a proces vysušení půdy mrazem, a to pomocí klimatizační komory FEUTRON. Posuzovala se náchylnost vybraných těžkých půd (Blat 57, Knez 20, Rad 07, Straz 63-2 a Tvar 06-2) k větrné erozi pomocí hranice erodovatelnosti.

Experimentální výzkum probíhal od podzimního období roku 2018 do jarního období roku 2020. Z důvodu výskytu pandemie COVID-19 v České republice nebylo možné provést agregátovou analýzu půdních vzorků, odebraných v jarním období roku 2020, a provést simulaci procesu FD pro vzorky půdy označené Blat 57, Rad 07 a Straz 63-2.

Výsledky agregátové analýzy pomocí síťového rozboru za sucha: u testovaných vzorků půdy s odběrem na podzim roku 2018 se zastoupení NEF_2 pohybovalo v rozmezí od 42,17 % do 61,09 % a NEF_{Σ} v rozmezí od 71,12 % do 88,86 %. U vzorků půdy s odběrem na jaře roku 2019 se zastoupení NEF_2 pohybovalo v rozmezí od 3,07 % do 16,10 % a o NEF_{Σ} v rozmezí od 46,30 % do 68,39 %. U půdních vzorků odebraných na podzim v roce 2019 se zastoupení NEF_2 pohybovalo v rozmezí od 34,33 % do 61,70 % a NEF_{Σ} v rozmezí od 64,34 % do 84,90 %. Z dosažených výsledků je patrné, že půda je nejvíce ohrožena větrnou erozí po zimním období.

Při obou procesech (FT, FD) testované půdy pro hranici erodovatelnosti 0,8 mm nejsou náchylné k větrné erozi, nenáchylnost pro tuto hranici pomocí agregátové analýzy (jaro 2019) byla laboratorně prokázána pouze u vzorků označených Tvar 06-2 a Knez 20.

Protože se místa odběrů zkoumaných vzorků nacházejí na jihovýchodní Moravě, kde jsou specifické klimatické podmínky, bylo potřeba všechny vzorky posoudit i z hlediska hranice erodovatelnosti 2,0 mm.

U procesu FT vzorky označené Blat 57 a Rad 07 pro hranici erodovatelnosti 2,0 mm jsou náchylné k větrné erozi, ale vzorek označený Straz 63-2 se jeví jako nenáchylný. Půdní vzorek označený Knez 20 při vlhkosti Θ_s se jeví jako nenáchylný k větrné erozi, ale při vlhkosti Θ_{PK} je potřeba realizovat více než pět cyklů procesu FT. Půdní vzorek

označený Tvar 06-2 během pěti cyklů procesu FT nedosáhl k dané hranici erodovatelnosti a jeho půdní agregáty větší než 2,0 mm se nepřestaly rozpadat, je tedy potřeba testovat více cyklů procesu FT.

U procesu FD vzorky označené Knez 20 a Tvar 06-2 pro hranici erodovatelnosti 2,0 mm jsou náchylné k větrné erozi.

Výsledky laboratorního výzkumu by bylo vhodné porovnat s měřením v terénu. V laboratorních podmínkách ovlivňoval rozpad půdních agregátů pouze proces FT nebo FD. V přirozených podmínkách nelze tyto dva procesy od sebe oddělit. Na rozpad půdních agregátů v přírodních podmínkách působí i další vlivy, např. vítr nebo dočasné ovlhčení půdního povrchu v důsledku tání sněhu, kdy vlhkost půdy není konstantní, jak to bylo v laboratorních podmínkách.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KOZLOVSKY DUFKOVÁ, Jana. *Kritéria rozvoje větrné eroze na těžkých půdách v podhůří Bílých Karpat*. Brno, 2014. Habilitační práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [2] HOLÝ, Miloš. *Protierozní ochrana*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1978. DT 502.654:631.4.
- [3] JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.
- [4] HLOBILOVÁ, Vlasta. *Eroze ledovcová* [online]. 2012, 27. 9. 2012, devátý [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://zs-zelatovska.cz/upload/12709153980vy-52-inovace-37-eroze-ledovcova.pdf>
- [5] ŠVEHLÍK, Rostislav. *Větrná eroze na jihovýchodní Moravě v obrazech*. Supplementum 8, 80 pp. V Uherském Hradišti: Přírodovědný klub, 2002. ISBN 80-86-485-02-1.
- [6] *Technický standard dokumentace plánu společných zařízení v pozemkových úpravách*. Aktualizovaná verze 2016. Praha: Státní pozemkový úřad. Dostupné také z: <https://www.spucr.cz/pozemkove-upravy/e-knihovna/predpisy-a-navody-pn/metodiky-me/technicky-standard-planu-spolecnych-zarizeni-v-pu>
- [7] HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-010-1078-3.
- [8] STŘEDOVÁ, Hana, Jana PODHRÁZSKÁ, Josef KUČERA, Vladimír PAPAJ, Petr KARÁSEK, Michal POCHOP a Jana KONEČNÁ. *Optimalizace metod hodnocení ohroženosti území větrnou erozí a návrhů ochranných opatření v zemědělsky intenzivně využívané krajině: projekt QK1710197*. Brno: Mendelova univerzita, 2019.
- [9] JANEČEK, Miloslav. *Základy erodologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1842-7.
- [10] NOVOTNÝ, Ivan, Vladimír PAPAJ, Jana PODHRÁZSKÁ, et al. *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. 3. aktualizované vydání. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2017. ISBN 978-80-87361-67-2.
- [11] Potenciální ohroženost větrnou erozí - od roku 2019. *Půda v číslech* [online]. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://statistiky.vumop.cz/?core=stat&kind=vitr&year>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Erodovatelnost a hranice erodovatelnosti podle druhu půdy. [1].....	28
Tabulka 2: Průměrná roční intenzita větrné eroze za sledované období. [1].....	33
Tabulka 3: Rozdělení půdních druhů podle procenta obsahu částic menší než 0,01 mm. [1].....	34
Tabulka 4: Obsah NEF_2 , $NEF_{0,8}$ a NEF_{Σ} zkoumaných půdních vzorků odebraných na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.	47
Tabulka 5: Přehled výsledných hodnot procesu FT pro půdní vzorky Blat 57 (2019), Knez 20 (2018) a Rad 07 (2019).	55
Tabulka 6: Přehled výsledných hodnot procesu FT pro půdní vzorky Straz 63-2 (2019) a Tvar 06-2 (2018).	56
Tabulka 7: Přehled výsledných hodnot procesu FD pro půdní vzorek Knez 20 (2018).	61
Tabulka 8: Přehled výsledných hodnot procesu FD pro půdní vzorek Tvar 06-2 (2018).	62
Tabulka 9: Agregátová analýza půdního vzorku Blat 57 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.	76
Tabulka 10: Agregátová analýza půdního vzorku Knez 20 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.	76
Tabulka 11: Agregátová analýza půdního vzorku Rad 07 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.	77
Tabulka 12: Agregátová analýza půdního vzorku Straz 63-2 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.	77
Tabulka 13: Agregátová analýza půdního vzorku Tvar 06-2 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.	78
Tabulka 14: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Blat 57 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.	79
Tabulka 15: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Blat 57 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.	79
Tabulka 16: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Blat 57 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.	80
Tabulka 17: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Blat 57 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.	80
Tabulka 18: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Knez 20 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.	81
Tabulka 19: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Knez 20 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.	81

Tabulka 20: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Knez 20 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.	82
Tabulka 21: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Knez 20 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.	82
Tabulka 22: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Rad 07 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.	83
Tabulka 23: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Rad 07 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.	83
Tabulka 24: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Rad 07 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.	84
Tabulka 25: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Rad 07 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.	84
Tabulka 26: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Straz 63-2 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.	85
Tabulka 27: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Straz 63-2 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.	85
Tabulka 28: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Straz 63-2 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.	86
Tabulka 29: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Straz 63-2 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.	86
Tabulka 30: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Tvar 06-2 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.	87
Tabulka 31: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Tvar 06-2 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.	87
Tabulka 32: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Tvar 06-2 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.	88
Tabulka 33: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Tvar 06-2 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.	88
Tabulka 34: Přepočet výsledných hodnot NEF_{Σ} pro jednotlivé cykly FT.	89
Tabulka 35: Určení NEF_2 půdních vzorků navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.	90
Tabulka 36: Určení NEF_2 půdních vzorků navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.	91
Tabulka 37: Přepočet výsledných hodnot NEF_2 pro jednotlivé cykly FT.	92
Tabulka 38: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Knez 20 určených pro proces FD.	93
Tabulka 39: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Knez 20 při procesu FD po jednom dni a měsíci.	93

Tabulka 40: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Tvar 06-2 určených pro proces FD.....	94
Tabulka 41: Určení NEF _Σ půdních vzorků Tvar 06-2 při procesu FD po jednom dni a měsíci.....	94
Tabulka 42: Určení NEF ₂ půdních vzorků Knez 20 a Tvar 06-2 při procesu FD.	95

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Potenciální ohrožené zemědělské půdy v České republice větrnou erozí za rok 2019. [11].....	18
Graf 2: Výskyt větrné eroze v průměrném procentuálním zastoupení během jednotlivých měsíců v letech 1957 – 2006 v oblasti pod Bílými Karpaty. [1]	32
Graf 3: Změna obsahu NEF_{Σ} ve zkoumaných oblastech v průběhu sledovaného období podzimu roku 2018 a jara a podzimu roku 2019.	48
Graf 4: Změna obsahu NEF_2 ve zkoumaných oblastech v průběhu sledovaného období podzimu roku 2018 a jara a podzimu roku 2019.	48
Graf 5: Průběhy obsahů NEF_{Σ} vzorků, které byly navlhčeny na Θ_s , při jednotlivých cyklech procesu FT.	57
Graf 6: Průběhy obsahů NEF_{Σ} vzorků, které byly navlhčeny na Θ_{PK} , při jednotlivých cyklech procesu FT.	58
Graf 7: Průběhy obsahů NEF_2 vzorků, které byly navlhčeny na Θ_s , při jednotlivých cyklech procesu FT.	58
Graf 8: Průběhy obsahů NEF_2 vzorků, které byly navlhčeny na Θ_{PK} , při jednotlivých cyklech procesu FT.	59
Graf 9: Průběhy obsahů NEF vzorků Knez 20, které byly navlhčeny na Θ_s , při procesu FD.	63
Graf 10: Průběhy obsahů NEF vzorků Knez 20, které byly navlhčeny na Θ_{PK} , při procesu FD.	63
Graf 11: Průběhy obsahů NEF vzorků Tvar 06-2, které byly navlhčeny na Θ_s , při procesu FD.	64
Graf 12: Průběhy obsahů NEF vzorků Tvar 06-2, které byly navlhčeny na Θ_{PK} , při procesu FD.	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Dráha částic při pohybu skokem podle N. Hudsona. [2]	20
Obrázek 2: Druhy pohybů půdních částic vlivem větru podle N. Hudsona. [2].....	21
Obrázek 3: Lapač Bagnold. [1].....	23
Obrázek 4: COX Sand Catcher. [1]	23
Obrázek 5: Akustické čidlo saltifon. [1].....	23
Obrázek 6: Čidlo Sensit. [1]	23
Obrázek 7: Vznik fěnu (halného větru). [1].....	28
Obrázek 8: Prašná bouře na těžkých půdách u Veselí nad Moravou. [10].....	30
Obrázek 9: Mapa ohroženosti půd větrnou erozí na jihovýchodní Moravě podle Švehlíka. [1].....	31
Obrázek 10: Pásové střídání plodin. [10].....	36
Obrázek 11: Zleva doprava větrolam prodouvavý, poloprodouvavý a neprodouvavý. [10]	39
Obrázek 12: Schéma působení různých druhů větrolamů na rychlost větru. [10].....	40
Obrázek 13: Mapa odběru půdních vzorků těžkých půd v kategorii ohroženosti 6. [8].	43
Obrázek 14: Upravený půdní vzorek.	44
Obrázek 15: Vibrační třepačka FRITSCH ANALYSETTE 3 PRO.	46
Obrázek 16: Klimatická komora FEUTRON.	50
Obrázek 17: Pohled do vnitřních prostor klimatické komory FEUTRON.	50
Obrázek 18: Polystyrénová izolace.....	51
Obrázek 19: Detail uložení Kopeckého válečku se vzorkem v polystyrénové izolaci...	51

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Blat 57	vzorky odebrané v oblasti Blatničky
d	průměr půdních částic [m]
E	erodovatelnost půdy větrem [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$]
EF	erodovatelná frakce
F	aerorozměr [$m \cdot s^{-1}$]
FD	proces vysušení půdy mrazem
FT	proces zmrznutí a rozmrznutím
g	gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]
HPJ	hlavní půdní jednotka
Knez 20	vzorky odebrané v oblasti Kněždubu
M	obsah jílnatých částic v půdě [%]
NEF	neerodovatelná frakce
NEF _{0,8}	procentuální obsah neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 0,8 mm ale menší než 2,0 mm [%]
NEF _{0,8,k}	procentuální obsah neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 0,8 mm ale menší než 2,0 mm v Kopeckého válečku [%]
NEF ₂	procentuální obsah neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 2,0 mm [%]
NEF _{2,k}	procentuální obsah neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 2,0 mm v Kopeckého válečku [%]
NEF _{2,%}	procenta z procentuálního obsahu neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 2,0 mm [%]
NEF _{2,ΘPK}	procentuální obsah neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 2,0 mm při Θ _{PK} [%]
NEF _{2,ΘPK,%}	procenta z procentuálního obsahu neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 2,0 mm při Θ _{PK} [%]

NEF_{2,Θ_S}	procentuální obsah neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 2,0 mm při Θ_S [%]
$NEF_{2,\Theta_S,\%}$	procenta z procentuálního obsahu neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 2,0 mm při Θ_S [%]
NEF_{Σ}	procentuální obsah neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 0,8 mm [%]
$NEF_{\Sigma,\%}$	procenta z procentuálního obsahu neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 0,8 mm [%]
$NEF_{\Sigma,\Theta_{PK}}$	procentuální obsah neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 0,8 mm při Θ_{PK} [%]
$NEF_{\Sigma,\Theta_{PK},\%}$	procenta z procentuálního obsahu neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 0,8 mm při Θ_{PK} [%]
NEF_{Σ,Θ_S}	procentuální obsah neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 0,8 mm při Θ_S [%]
$NEF_{\Sigma,\Theta_S,\%}$	procenta z procentuálního obsahu neerodovatelné frakce obsahující částice větší než 0,8 mm při Θ_S [%]
r	poloměr částic [m]
Rad 07	vzorky odebrané v oblasti Radějova
Straz 63-2	vzorky odebrané v oblasti Strážnice
Tvar 06-2	vzorky odebrané v oblasti Tvarožné Lhoty
v	rychlost větru při zemi [$m \cdot s^{-1}$]
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
α	empiricky stanovená konstanta; $\alpha = 14$
β	empiricky stanovená konstanta; $\beta = 0,006$
η	dynamická viskozita prostředí [$Pa \cdot s$]
Θ_0	vyschlá půda na vzduchu
Θ_{PK}	polní vodní kapacita

Θ_S	plná vodní kapacita
Θ_V	bod vadnutí
ν	kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
ρ	hustota prostředí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
ρ_1	hustota suspendovaných částic [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

PŘÍLOHA Č. 1 – Agregátová analýza

Rozbor půdních vzorků pomocí agregátové analýzy suchým způsobem

Tabulka 9: Agregátová analýza půdního vzorku Blat 57 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.

období	> 2 mm	0,8 až 2,0 mm	< 0,8 mm	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF _Σ
	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
podzim 2018	89,85	45,35	14,80	59,90	30,23	9,87	59,06	29,80	11,14	88,86
	90,46	43,22	16,32	60,31	28,81	10,88				
	85,44	45,55	19,01	56,96	30,37	12,67				
jaro 2019	4,78	60,39	84,83	3,19	40,26	56,55	3,07	43,23	53,70	46,30
	4,60	63,99	81,41	3,07	42,66	54,27				
	4,45	70,16	75,39	2,97	46,77	50,26				
podzim 2019	78,56	47,23	24,21	52,37	31,49	16,14	54,44	30,46	15,10	84,90
	83,18	46,06	20,76	55,45	30,71	13,84				
	83,25	43,78	22,97	55,50	29,19	15,31				

Tabulka 10: Agregátová analýza půdního vzorku Knez 20 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.

období	>2 mm	0,8 až 2,0mm	<0,8 mm	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF _Σ
	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
podzim 2018	87,05	40,60	22,35	58,03	27,07	14,90	56,92	26,06	17,01	82,99
	88,10	37,07	24,83	58,73	24,71	16,55				
	81,01	39,61	29,38	54,01	26,41	19,59				
jaro 2019	10,02	86,18	53,80	6,68	57,45	35,87	8,00	60,39	31,61	68,39
	12,53	93,08	44,39	8,35	62,05	29,59				
	13,45	92,49	44,06	8,97	61,66	29,37				
podzim 2019	60,16	39,91	49,93	40,11	26,61	33,29	39,35	27,38	33,27	66,73
	63,39	41,50	45,11	42,26	27,67	30,07				
	53,54	41,79	54,67	35,69	27,86	36,45				

Tabulka 11: Agregátová analýza půdního vzorku Rad 07 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.

období	>2 mm	0,8 až 2,0mm	<0,8 mm	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF _Σ
	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
podzim 2018	65,20	46,50	38,30	43,47	31,00	25,53				
	60,00	43,74	46,26	40,00	29,16	30,84	42,17	28,95	28,88	71,12
	64,56	40,03	45,41	43,04	26,69	30,27				
jaro 2019	17,08	70,13	62,79	11,39	46,75	41,86				
	14,85	66,75	68,40	9,90	44,50	45,60	10,73	46,01	43,26	56,74
	16,34	70,16	63,50	10,89	46,77	42,33				
podzim 2019	54,30	43,94	51,76	36,20	29,29	34,51				
	48,68	46,09	55,23	32,45	30,73	36,82	34,33	30,01	35,66	64,34
	51,49	45,02	53,50	34,33	30,01	35,66				

Tabulka 12: Agregátová analýza půdního vzorku Straz 63-2 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.

období	>2 mm	0,8 až 2,0mm	<0,8 mm	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF _Σ
	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
podzim 2018	79,76	24,08	46,16	53,17	16,05	30,77				
	80,93	25,26	43,81	53,95	16,84	29,21	54,77	16,35	28,88	71,12
	85,77	24,23	40,00	57,18	16,15	26,67				
jaro 2019	13,27	56,68	80,05	8,85	37,79	53,37				
	13,73	64,51	71,76	9,15	43,01	47,84	10,50	42,52	46,98	53,02
	20,27	70,13	59,60	13,51	46,75	39,73				
podzim 2019	90,65	33,74	25,61	60,43	22,49	17,07				
	93,12	33,69	23,19	62,08	22,46	15,46	61,70	22,19	16,10	83,90
	93,89	32,44	23,67	62,59	21,63	15,78				

Tabulka 13: Agregátová analýza půdního vzorku Tvar 06-2 odebraného na podzim roku 2018 a na jaře a podzimu roku 2019.

období	>2 mm	0,8 až 2,0mm	<0,8 mm	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF ₂	NEF _{0,8}	EF	NEF _Σ
	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
podzim 2018	79,33	41,08	29,59	52,89	27,39	19,73				
	99,84	31,92	18,24	66,56	21,28	12,16	61,09	23,57	15,34	84,66
	95,73	33,07	21,20	63,82	22,05	14,13				
jaro 2019	23,65	56,42	69,93	15,77	37,61	46,62				
	21,85	54,16	73,99	14,57	36,11	49,33	16,10	36,76	47,14	52,86
	26,93	54,84	68,23	17,95	36,56	45,49				
podzim 2019	94,52	38,24	17,24	63,01	25,49	11,49				
	65,69	45,71	38,60	43,79	30,47	25,73	50,32	30,43	19,25	80,75
	66,23	52,97	30,80	44,15	35,31	20,53				

PŘÍLOHA Č. 2 – Určení NEF_{Σ} při procesu FT

Simulace procesu zmrznutí a rozmrznutí na půdních vzorcích – určení NEF_{Σ}

Tabulka 14: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Blat 57 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	$NEF_{2,k}$	$NEF_{0,8,k}$	$NEF_{2,k}$	$NEF_{0,8,k}$	$NEF_{\Sigma,\%}$
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
39,40	29,29	57,36	42,64	63,03	36,97	100
47,52	21,65	68,70	31,30			
42,49	26,66	61,45	38,55	61,83	38,17	100
42,97	26,10	62,21	37,79			
38,20	30,88	55,30	44,70	60,24	39,76	100
45,19	24,14	65,18	34,82			
42,90	26,60	61,73	38,27	60,35	39,65	100
41,01	28,52	58,98	41,02			
45,64	23,38	66,13	33,87	67,34	32,66	100
47,54	21,80	68,56	31,44			

Tabulka 15: Určení NEF_{Σ} půdních vzorků Blat 57 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF_{Σ}
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	$NEF_{2,k}$	$NEF_{0,8,k}$	$NEF_{2,k}$	$NEF_{0,8,k}$	$NEF_{\Sigma,\%}$	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	34,32	29,22	49,96	42,54	57,34	36,46	93,79	79,63
	44,76	21,01	64,71	30,37				
2	37,05	26,80	53,58	38,76	50,88	39,50	90,38	76,74
	33,28	27,80	48,18	40,25				
3	34,37	29,32	49,75	42,44	47,61	40,91	88,52	75,15
	31,52	27,30	45,46	39,38				
4	29,39	30,69	42,29	44,16	43,88	42,42	86,29	73,26
	31,61	28,28	45,46	40,67				
5	27,64	31,08	40,05	45,03	43,37	42,94	86,31	73,28
	32,38	28,32	46,70	40,84				

Tabulka 16: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Blat 57 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
46,11	24,05	65,72	34,28	65,59	34,41	100
45,71	24,12	65,46	34,54			
46,30	23,64	66,20	33,80	65,15	34,85	100
44,76	25,06	64,11	35,89			
48,39	21,46	69,28	30,72	65,35	34,65	100
42,85	26,91	61,42	38,58			
49,45	20,11	71,09	28,91	66,06	33,94	100
42,58	27,19	61,03	38,97			
49,50	20,34	70,88	29,12	64,05	35,95	100
40,05	29,94	57,22	42,78			

Tabulka 17: Určení NEF_Σ půdních vzorků Blat 57 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	37,15	27,95	52,95	39,84	55,61	38,71	94,32	80,08
	40,69	26,24	58,27	37,58				
2	39,67	25,23	56,72	36,07	54,91	39,17	94,08	79,87
	37,07	29,51	53,09	42,27				
3	38,11	28,54	54,56	40,86	53,26	40,81	94,07	79,87
	36,25	28,43	51,96	40,75				
4	27,95	33,73	40,18	48,49	44,52	48,00	92,52	78,55
	34,09	33,15	48,86	47,51				
5	32,29	32,70	46,23	46,82	44,45	47,88	92,33	78,39
	29,86	34,25	42,66	48,94				

Tabulka 18: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Knez 20 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
45,49	20,69	68,74	31,26	69,75	30,25	100
48,13	19,89	70,76	29,24			
46,98	21,81	68,29	31,71	68,61	31,39	100
47,12	21,25	68,92	31,08			
45,76	20,62	68,94	31,06	68,99	31,01	100
47,63	21,36	69,04	30,96			
44,97	22,79	66,37	33,63	69,01	30,99	100
49,09	19,42	71,65	28,35			
45,12	24,00	65,28	34,72	68,05	31,95	100
48,49	19,97	70,83	29,17			

Tabulka 19: Určení NEF_Σ půdních vzorků Knez 20 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	44,11	20,30	66,65	30,67	64,07	32,53	96,60	80,16
	41,82	23,39	61,48	34,39				
2	39,99	25,25	58,13	36,71	59,65	35,17	94,82	78,68
	41,82	22,99	61,17	33,63				
3	41,97	22,03	63,23	33,19	64,55	31,44	95,99	79,66
	45,44	20,49	65,86	29,70				
4	37,81	25,26	55,80	37,28	58,14	35,62	93,76	77,81
	41,43	23,27	60,47	33,97				
5	39,20	25,03	56,71	36,21	58,65	34,19	92,84	77,04
	41,48	22,02	60,59	32,16				

Tabulka 20: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Knez 20 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
44,36	21,68	67,17	32,83	69,33	30,67	100
49,44	19,71	71,50	28,50			
43,48	24,42	64,04	35,96	68,42	31,58	100
49,95	18,65	72,81	27,19			
44,04	25,06	63,73	36,27	68,31	31,69	100
49,54	18,43	72,89	27,11			
40,73	28,12	59,16	40,84	66,04	33,96	100
50,36	18,70	72,92	27,08			
40,68	28,45	58,85	41,15	66,15	33,85	100
50,51	18,26	73,45	26,55			

Tabulka 21: Určení NEF_Σ půdních vzorků Knez 20 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	40,35	22,14	61,10	33,53	64,33	30,74	95,07	78,90
	46,72	19,33	67,56	27,95				
2	40,88	23,33	60,21	34,36	60,58	33,28	93,86	77,89
	41,82	22,09	60,96	32,20				
3	34,44	26,84	49,84	38,84	55,89	35,94	91,83	76,20
	42,10	22,45	61,94	33,03				
4	29,97	31,33	43,53	45,50	51,09	39,75	90,84	75,38
	40,50	23,48	58,64	34,00				
5	27,86	29,84	40,30	43,17	48,91	38,58	87,49	72,61
	39,56	23,38	57,53	34,00				

Tabulka 22: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Rad 07 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
35,44	31,47	52,97	47,03	51,93	48,07	100
34,28	33,08	50,89	49,11			
40,88	27,14	60,10	39,90	57,23	42,77	100
37,03	31,10	54,35	45,65			
40,66	27,60	59,57	40,43	57,27	42,73	100
37,41	30,63	54,98	45,02			
37,40	30,18	55,34	44,66	57,78	42,22	100
41,06	27,12	60,22	39,78			
37,92	30,47	55,45	44,55	57,01	42,99	100
39,35	27,83	58,57	41,43			

Tabulka 23: Určení NEF_Σ půdních vzorků Rad 07 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	31,70	32,58	47,38	48,69	48,74	45,19	93,93	60,43
	33,75	28,08	50,10	41,69				
2	30,95	31,23	45,50	45,91	43,48	47,64	91,13	58,63
	28,25	33,64	41,46	49,38				
3	27,98	32,99	40,99	48,33	40,09	48,99	89,08	57,31
	26,67	33,78	39,20	49,65				
4	27,19	33,26	40,23	49,22	39,59	48,79	88,37	56,86
	26,55	32,97	38,94	48,36				
5	26,10	34,33	38,16	50,20	39,39	48,59	87,98	56,60
	27,29	31,56	40,62	46,98				

Tabulka 24: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Rad 07 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
41,12	27,23	60,16	39,84	59,76	40,24	100
40,37	27,65	59,35	40,65			
41,43	26,91	60,62	39,38	58,85	41,15	100
38,62	29,04	57,08	42,92			
41,58	26,67	60,92	39,08	58,30	41,70	100
37,66	29,98	55,68	44,32			
41,78	26,31	61,36	38,64	58,20	41,80	100
37,47	30,62	55,03	44,97			
41,85	26,82	60,94	39,06	57,31	42,69	100
36,42	31,44	53,67	46,33			

Tabulka 25: Určení NEF_Σ půdních vzorků Rad 07 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	33,29	28,11	48,71	41,13	47,15	44,64	91,79	59,06
	31,02	32,75	45,60	48,15				
2	33,75	30,58	49,39	44,75	47,09	46,25	93,34	60,05
	30,31	32,31	44,80	47,75				
3	31,11	32,14	45,58	47,09	46,48	46,75	93,22	59,98
	32,04	31,39	47,37	46,41				
4	31,48	32,07	46,23	47,10	43,09	47,89	90,98	58,53
	27,20	33,14	39,95	48,67				
5	31,38	32,63	45,70	47,52	42,51	48,07	90,58	58,28
	26,68	33,00	39,32	48,63				

Tabulka 26: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Straz 63-2 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
44,00	25,45	63,35	36,65	65,02	34,98	100
46,04	23,00	66,69	33,31			
47,78	21,45	69,02	30,98	67,86	32,14	100
46,30	23,11	66,71	33,29			
46,15	23,19	66,56	33,44	64,02	35,98	100
42,35	26,52	61,49	38,51			
42,36	27,25	60,85	39,15	57,60	42,40	100
37,51	31,52	54,34	45,66			
46,47	22,65	67,23	32,77	63,09	36,91	100
40,97	28,54	58,94	41,06			

Tabulka 27: Určení NEF_Σ půdních vzorků Straz 63-2 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	37,62	25,48	54,17	36,69	55,84	35,91	91,75	76,97
	39,71	24,25	57,52	35,12				
2	34,62	26,99	50,01	38,99	49,42	39,90	89,32	74,94
	33,90	28,33	48,84	40,82				
3	25,77	32,26	43,16	46,52	43,73	45,40	89,13	74,77
	30,51	30,49	44,30	44,27				
4	30,04	31,18	43,15	44,79	43,58	44,29	87,87	73,72
	30,38	30,23	44,01	43,79				
5	27,89	30,72	40,35	44,44	43,14	44,69	87,83	73,69
	31,93	31,23	45,94	44,93				

Tabulka 28: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Straz 63-2 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
40,99	28,37	59,10	40,90	59,17	40,83	100
40,37	27,77	59,25	40,75			
41,38	27,65	59,94	40,06	58,71	41,29	100
39,09	28,92	57,48	42,52			
41,94	27,27	60,60	39,40	58,08	41,92	100
37,92	30,32	55,57	44,43			
43,96	25,25	63,52	36,48	59,90	40,10	100
37,90	29,43	56,29	43,71			
46,77	21,00	69,01	30,99	61,71	38,29	100
37,35	31,31	54,40	45,60			

Tabulka 29: Určení NEF_Σ půdních vzorků Straz 63-2 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	37,86	28,68	54,58	41,35	52,37	40,46	92,83	77,88
	34,18	26,96	50,16	39,57				
2	32,84	30,45	47,57	44,11	48,33	43,70	92,03	77,21
	33,39	29,44	49,10	43,29				
3	34,06	29,50	49,21	42,62	48,00	43,92	91,92	77,11
	31,93	30,85	46,79	45,21				
4	32,99	30,05	47,67	43,42	47,88	44,05	91,93	77,12
	32,38	30,08	48,09	44,68				
5	35,38	26,20	52,21	38,66	47,67	43,37	91,04	76,38
	29,62	33,01	43,14	48,08				

Tabulka 30: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Tvar 06-2 určených na navlhčení Θ_s pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
43,26	24,99	63,38	36,62	65,56	34,44	100
46,75	22,26	67,74	32,26			
43,73	24,70	63,90	36,10	65,50	34,50	100
46,45	22,78	67,10	32,90			
44,06	25,25	63,57	36,43	64,55	35,45	100
45,12	23,73	65,53	34,47			
41,77	26,90	60,83	39,17	65,35	34,65	100
47,83	20,63	69,87	30,13			
41,95	27,13	60,73	39,27	64,30	35,70	100
47,03	22,27	67,86	32,14			

Tabulka 31: Určení NEF_Σ půdních vzorků Tvar 06-2 navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	38,77	23,83	56,81	34,92	60,03	33,35	93,38	79,06
	43,65	21,94	63,25	31,79				
2	37,82	26,20	55,27	38,29	58,58	35,55	94,13	79,69
	42,85	22,71	61,90	32,80				
3	38,21	26,48	55,13	38,21	55,56	37,87	93,43	79,10
	38,55	25,84	55,99	37,53				
4	35,99	27,17	52,41	39,57	51,95	38,71	90,66	76,75
	35,25	25,91	51,49	37,85				
5	33,71	28,88	48,80	41,81	49,96	40,67	90,63	76,73
	35,43	27,39	51,13	39,52				

Tabulka 32: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Tvar 06-2 určených na navlhčení Θ_{PK} pro proces FT.

počátek				průměr		
>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
41,55	26,74	60,84	39,16	65,41	34,59	100
48,02	20,61	69,97	30,03			
39,80	28,66	58,14	41,86	64,82	35,18	100
49,41	19,69	71,51	28,49			
40,31	29,02	58,14	41,86	64,54	35,46	100
49,16	20,14	70,94	29,06			
39,08	29,78	56,75	43,25	64,39	35,61	100
50,05	19,43	72,04	27,96			
37,77	30,36	55,44	44,56	63,80	36,20	100
50,06	19,31	72,16	27,84			

Tabulka 33: Určení NEF_Σ půdních vzorků Tvar 06-2 navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
počet cyklů	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	39,45	24,59	57,77	36,01	62,64	32,98	95,62	80,95
	46,33	20,56	67,51	29,96				
2	37,59	27,93	54,91	40,80	60,20	35,30	95,49	80,85
	45,25	20,59	65,48	29,80				
3	34,61	30,98	49,92	44,68	57,83	37,04	94,87	80,32
	45,56	20,37	65,74	29,39				
4	31,74	30,86	46,09	44,82	54,80	37,43	92,24	78,09
	44,13	20,88	63,51	30,05				
5	31,36	28,50	46,03	41,83	52,35	36,67	89,02	75,37
	40,70	21,86	58,67	31,51				

Tabulka 34: Přepočet výsledných hodnot NEF_{Σ} pro jednotlivé cykly FT.

půdní vzorky	počet cyklů	$NEF_{\Sigma, \Theta S}$	$NEF_{\Sigma, \Theta S, \%}$	$NEF_{\Sigma, \Theta PK}$	$NEF_{\Sigma, \Theta PK, \%}$
		[%]	[%]	[%]	[%]
Blat 57	0	84,90	100	84,90	100
	1	79,90	94,11	80,79	95,16
	2	76,68	90,31	79,42	93,55
	3	74,75	88,04	79,33	93,44
	4	73,70	86,81	79,31	93,41
	5	73,28	86,31	78,39	92,33
Knez 20	0	82,99	100	82,99	100
	1	80,15	96,59	79,19	95,43
	2	79,10	95,32	77,44	93,32
	3	78,84	95,00	76,52	92,21
	4	78,41	94,49	75,29	90,73
	5	77,04	92,84	72,61	87,49
Rad 07	0	64,34	100	64,34	100
	1	60,59	94,18	60,20	93,57
	2	58,44	90,83	59,18	91,98
	3	57,36	89,16	59,43	92,38
	4	56,90	88,44	59,51	92,49
	5	56,60	87,98	58,28	90,58
Straz 63-2	0	83,90	100	83,90	100
	1	77,41	92,27	78,39	93,44
	2	74,76	89,11	76,75	91,48
	3	74,25	88,50	77,02	91,81
	4	74,34	88,61	77,45	92,32
	5	73,69	87,83	76,38	91,04
Tvar 06-2	0	84,66	100	84,66	100
	1	80,34	94,90	81,52	96,29
	2	78,77	93,05	80,46	95,04
	3	78,37	92,57	79,95	94,44
	4	77,94	92,07	78,65	92,90
	5	76,73	90,63	75,37	89,02

PŘÍLOHA Č. 3 - Určení NEF₂ při procesu FT

Simulace procesu zmrznutí a rozmrznutí na půdních vzorcích – určení NEF₂

Tabulka 35: Určení NEF₂ půdních vzorků navlhčených na Θ_s po jednotlivých cyklech procesu FT.

půdní vzorky	počátek		proces FT			NEF ₂ [%]
	NEF _{2,k}	NEF _{2,%}	počet cyklů	NEF _{2,k}	NEF _{2,%}	
	[%]	[%]		[%]	[%]	
Blat 57	63,03	100	1	57,34	90,97	49,52
	61,83	100	2	50,88	82,29	44,80
	60,24	100	3	47,61	79,03	43,03
	60,35	100	4	43,88	72,70	39,58
	67,34	100	5	43,37	64,40	35,06
Knez 20	69,75	100	1	64,07	91,85	52,29
	68,61	100	2	59,65	86,94	49,49
	68,99	100	3	64,55	93,56	53,26
	69,01	100	4	58,14	84,24	47,95
	68,05	100	5	58,65	86,18	49,06
Rad 07	51,93	100	1	48,74	93,86	32,22
	57,23	100	2	43,48	75,98	26,08
	57,27	100	3	40,09	70,00	24,03
	57,78	100	4	39,59	68,51	23,52
	57,01	100	5	39,39	69,10	23,72
Straz 63-2	65,02	100	1	55,84	85,89	52,99
	67,86	100	2	49,42	72,83	44,94
	64,02	100	3	43,73	68,30	42,14
	57,60	100	4	43,58	75,67	46,69
	63,09	100	5	43,14	68,39	42,20
Tvar 06-2	65,56	100	1	60,03	91,56	55,93
	65,50	100	2	58,58	89,44	54,64
	64,55	100	3	55,56	86,07	52,58
	65,35	100	4	51,95	79,50	48,57
	64,30	100	5	49,96	77,71	47,47

Tabulka 36: Určení NEF₂ půdních vzorků navlhčených na Θ_{PK} po jednotlivých cyklech procesu FT.

půdní vzorky	počátek		proces FT			NEF ₂ [%]
	NEF _{2,k}	NEF _{2,%}	počet cyklů	NEF _{2,k}	NEF _{2,%}	
	[%]	[%]		[%]	[%]	
Blat 57	65,59	100	1	55,61	84,78	46,16
	65,15	100	2	54,91	84,27	45,88
	65,35	100	3	53,26	81,50	44,37
	66,06	100	4	44,52	67,40	36,69
	64,05	100	5	44,45	69,40	37,78
Knez 20	69,33	100	1	64,33	92,78	52,82
	68,42	100	2	60,58	88,54	50,40
	68,31	100	3	55,89	81,82	46,57
	66,04	100	4	51,09	77,36	44,04
	66,15	100	5	48,91	73,95	42,09
Rad 07	59,76	100	1	47,15	78,91	27,09
	58,85	100	2	47,09	80,02	27,47
	58,30	100	3	46,48	79,72	27,36
	58,20	100	4	43,09	74,04	25,42
	57,31	100	5	42,51	74,17	25,46
Straz 63-2	59,17	100	1	52,37	88,51	54,61
	58,71	100	2	48,33	82,33	50,80
	58,08	100	3	48,00	82,64	50,99
	59,90	100	4	47,88	79,93	49,32
	61,71	100	5	47,67	77,26	47,67
Tvar 06-2	65,41	100	1	62,64	95,77	58,50
	64,82	100	2	60,20	92,87	56,73
	64,54	100	3	57,83	89,61	54,74
	64,39	100	4	54,80	85,11	51,99
	63,80	100	5	52,35	82,05	50,12

Tabulka 37: Přepočet výsledných hodnot NEF₂ pro jednotlivé cykly FT.

půdní vzorky	počet cyklů	NEF _{2,ΘS}	NEF _{2,ΘS,%}	NEF _{2,ΘPK}	NEF _{2,ΘPK,%}
		[%]	[%]	[%]	[%]
Blat 57	0	54,44	100	54,44	100
	1	49,05	90,09	48,44	88,98
	2	45,46	83,49	44,77	82,24
	3	42,68	78,39	42,03	77,20
	4	39,60	72,73	39,59	72,72
	5	35,06	64,40	37,78	69,40
Knez 20	0	56,92	100	56,92	100
	1	52,42	92,09	53,26	93,56
	2	50,77	89,18	49,86	87,60
	3	50,45	88,62	46,77	82,16
	4	50,12	88,05	44,11	77,49
	5	49,06	86,18	42,09	73,95
Rad 07	0	34,33	100	34,33	100
	1	31,02	90,36	28,40	82,73
	2	27,21	79,27	26,55	77,36
	3	24,18	70,43	26,57	77,41
	4	22,80	66,43	26,66	77,68
	5	23,72	69,10	25,46	74,17
Straz 63-2	0	61,70	100	61,70	100
	1	51,06	82,75	54,45	88,25
	2	45,81	74,24	51,29	83,12
	3	44,28	71,76	50,34	81,58
	4	44,12	71,51	49,72	80,59
	5	42,20	68,39	47,67	77,26
Tvar 06-2	0	61,09	100	61,09	100
	1	56,90	93,14	58,76	96,18
	2	54,06	88,50	56,61	92,66
	3	51,80	84,79	54,48	89,18
	4	49,64	81,25	52,31	85,63
	5	47,47	77,71	50,12	82,05

PŘÍLOHA Č. 4 - Určení NEF při procesu FD

Vlhkostní nasycení

	Θ_S
	Θ_{PK}

Tabulka 38: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Knez 20 určených pro proces FD.

počátek					průměr		
určené pro	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
den	43,90	25,65	63,12	36,88	67,39	32,61	100
	49,90	19,73	71,66	28,34			
	46,93	22,70	67,40	32,60	68,58	31,42	100
	48,57	21,05	69,76	30,24			
měsíc	46,93	22,70	67,40	32,60	68,58	31,42	100
	48,57	21,05	69,76	30,24			
	43,90	25,65	63,12	36,88	67,39	32,61	100
	49,90	19,73	71,66	28,34			

Tabulka 39: Určení NEF_Σ půdních vzorků Knez 20 při procesu FD po jednom dni a měsíci.

vzorky po cyklech					průměr			NEF _Σ
doba trvání	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
den	32,72	32,99	47,05	47,43	50,44	45,04	95,47	79,23
	37,48	29,69	53,83	42,64				
	41,33	26,43	59,36	37,96	61,03	36,90	97,94	81,28
	43,66	24,96	62,71	35,85				
měsíc	27,72	33,55	39,81	48,19	40,53	46,97	87,50	72,61
	28,72	31,85	41,25	45,75				
	23,81	37,40	34,24	53,77	34,97	53,20	88,17	73,17
	24,85	36,65	35,69	52,63				

Vlhkostní nasycení

	Θ_S
	Θ_{PK}

Tabulka 40: Agregátová analýza jednotlivých půdních vzorků Tvar 06-2 určených pro proces FD.

určené pro	počátek				průměr		
	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
den	41,32	27,81	59,77	40,23	61,39	38,61	100
	43,69	25,66	63,00	37,00			
	45,83	23,53	66,08	33,92	61,73	38,27	100
	39,76	29,52	57,39	42,61			
měsíc	45,83	23,53	66,08	33,92	61,73	38,27	100
	39,76	29,52	57,39	42,61			
	41,32	27,81	59,77	40,23	61,39	38,61	100
	43,69	25,66	63,00	37,00			

Tabulka 41: Určení NEF_Σ půdních vzorků Tvar 06-2 při procesu FD po jednom dni a měsíci.

doba trvání	vzorky po cyklech				průměr			NEF _Σ
	>2 mm	0,8 až 2,0 mm	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{2,k}	NEF _{0,8,k}	NEF _{Σ,%}	
	[g]	[g]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
den	31,12	31,33	45,02	45,32	46,76	44,35	91,11	77,13
	33,64	30,08	48,51	43,37				
	34,29	30,40	49,44	43,83	45,44	46,75	92,19	78,05
	28,71	34,41	41,44	49,67				
měsíc	24,52	31,61	35,35	45,58	33,55	46,95	80,50	68,15
	22,00	33,48	31,75	48,32				
	20,66	33,75	29,88	48,82	31,65	47,22	78,87	66,77
	23,18	31,63	33,42	45,61				

Vlhkostní nasycení

	Θ_s
	Θ_{PK}

Tabulka 42: Určení NEF₂ půdních vzorků Knez 20 a Tvar 06-2 při procesu FD.

půdní vzorky	počátek		dobu trvání	proces FD		NEF ₂ [%]
	NEF _{2,k}	NEF _{2,%}		NEF _{2,k}	NEF _{2,%}	
	[%]	[%]		[%]	[%]	
Knez 20	67,39	100	den	50,44	74,84	42,60
	68,58	100		61,03	88,99	50,66
	68,58	100	měsíc	40,53	59,10	33,64
	67,39	100		34,97	51,89	29,54
Tvar 06-2	61,39	100	den	46,76	76,18	46,54
	61,73	100		45,44	73,61	44,97
	61,73	100	měsíc	33,55	54,35	33,20
	61,39	100		31,65	51,57	31,50